超常現象の科学

霊魂からブラックホールまで

都筑卓司

BLUE BACKS

常識を超えた不思議な現象と現代科学

特異現象中における科学の占める位置、現在の科学の果たしている役割、科学の骨子を将来にまで延長したと仮定したときの極限的な事象にまで言及したつもりである。つもりではあるが、自然界の複雑な現象を――身近な例にしろ、広大な宇宙を対象にするにしろ――説明するには、現在の科学はまだまだ不十分だと感ぜざるを得ない。現在の科学で（いいかえれば人間の知り得た理論体系で）、その現象の多様性といい、宇宙の広さといい、極微の世界のからくりといい、これを解きほぐそうとするのは、自然はあまりに大きく、これに対する人間の知恵はあまりに微弱である。

（著者まえがきより）

333

超常現象の科学

霊魂からブラックホールまで

都筑卓司　著

ブルーバックス

まえがき

一九七七年の夏、ニュージーランド近海で大洋漁業のトロール船が海中から不気味な動物の屍体を引き揚げた。これが、居合わせた乗組員たちのうわさ話だけだったら、それほど大きく報道されなかったかもしれない。「海の男」の大言にはえてしてほらが多い……などというつもりはさらさらないが、証拠物件がなかったらおそらく新聞の隅のコラムかなにかに、関係者談として小さく掲載されるにとどまっただろう。広島県西城町の類人猿や、四国の山中に出現したといわれるツチノコや、あるいはヒマラヤの雪男のように「存在そのもの」が謎のまま終わってしまったかもしれない。

ところが……ギョッとさせたのは例の写真である。種も仕掛けもない鮮明な写真が手に入ったからこそ、新聞社では社会面にはもちろん、第一面にも発表した。写真入手の遅速がそのまま、新聞社の特ダネの勝敗につながった。事実、A新聞はY新聞よりもまる一日早く、この記事を読者に提供している。新聞社の内部事情は知らないが、Y新聞の方では、あるいは科学的根拠の信憑性(しんぴょうせい)に疑問をもって、慎重に構えたのかもしれない。もしそうだったら、

何でもかでも速報をモットーとする新聞社かたぎの中にあって、慎重にことを運んだ態度は——少なくとも科学的な立場からは——私にはかえって好ましく感じられる。

しかし、結果的にはこの事件は国外にまで反響をよび、なぜ「それ」を持ち帰らなかったのかという批難にまで発展していった。このことについてはそのときの条件下での諸事情、漁船の任務、突発事項に対する判断のむずかしさなど、いろいろ論ぜられたのはご存知のとおりである。ただ、科学的な態度としては、せめてその一部(特に頭部)だけでもどうして保存しておかなかったか、というのが一般の意見だった。「科学」というものは、自然界の現象をあくまで実証的につきとめ、調査検討し、解明するものであることをおもえば、「惜しいことをした」と後悔するのは当然である。

しかし一般に、人間の「心情」というものは、必ずしも科学的な(言葉を変えていえば合理的な)ものだけではないのが事実のようだ。夜空に輝く星を見て、あの星は何光年の距離のもの、あちらに見えるのは何々星雲……というような意識とは別に、一方では深夜にまばたく美しい真珠を想像し、貧しい人にも生活の困苦にあえぐ者にもまんべんなく照らす心やさしい自然の働きかけだと感じる心がある。もちろん星を天の宝石だと見る人も、科学のありかたを否定しているわけではない。自然を観察(あるいは観賞)する心のもち方が、各人

各様でさまざまだということである。

このように考えてみると、ニュージーランド沖で釣り揚げた「例の」獲物を、そのまま海に返してやったのも――科学する心に反することになろうが――これも一つのなりゆきだったのかもしれない。謎のものは謎のままにしておきたい……というのも、人の心情の一部ではなかろうか。

とはいうものの、不思議なものを何から何まで棚上げしてしまうのは、文学的（あるいは詩的？）かもしれないが、他面において人間の知識欲を抑圧してしまう。自然界の見せてくれる神秘な舞台を静かに眺める感情と併わせて、それを解き明かそうとする理性をも持ち合わせているのが人間である。ただ、その両者の多寡が人によって異なり、感覚的度合いの強い人、理性を主とする人などさまざまであり、さまざまなるがゆえに人間社会は多様的であって、おもしろ味も倍加する。すべての人間の関心が同じような指向をたどれば……おそらくこの世は味もそっけもないものになろう。

多様性はいいが、困るのはこの両者が、その境界付近で混沌としていることである。一つの不可解な現象を例にあげて、それがたんに心理的なものか、あるいは科学的に裏打ちされたものかをみきわめるのがきわめて困難な場合が多々ある。そうしてこのようなケースで

は、人間はえてして自分の好む方向にものごとを解釈しがちになる。科学的な立場を十分に認めながらも（いや、認めるがゆえにいっそう）科学から逸脱したものの存在を信じたい気持ちにかられる。ニュージーランドの怪物はプレシオザウルスである……六千万年まえの歴史がよみがえった……という話は大いにロマンに富むが、ロマンを直ちに真実に結びつけるのは早計であろう。幸い矢野道彦氏がもたらした怪獣の繊維が現存して、科学者によってこれが詳細に検討されている。その結果に対しても異なった説があるが、私は東大あるいは東京医科歯科大グループの説く「サメの一種らしい」というのがもっとも当を得ているのではないかと思う。しかし……「思う」というのはあくまで個人的な主観であり、別の見解をもつ人も多かろう。このように考えてみると、結局は謎はあくまでも謎であり、要は信じるか信じないかの問題に帰着するのかもしれない。

　科学的な解明は日進月歩で変化していくものである。私はむしろ、科学の将来の方に大きな興味を感じる。かつては「質量保存の法則」といって、化学変化に際して質量は変わらないものと信じられてきた。木が燃えても、燃焼前の木と酸素との重さの和は、燃焼によって生じる二酸化炭素と水蒸気との重さの和に等しいのである。ところがアインシュタインによってこの法則は打破されて「質量が消えて、それがエネルギーに変わる」という、当時とし

てはまったく常識外の内容が提示された。そうしてこのことは、原子爆弾という不幸な実験によって検証された。このような「科学のあゆみ」を振り返るとき、われわれは今後、まったく予期しない道に進んでいくかもしれない。科学に従事する人たちは、決して不幸を前提にしているわけではないが、科学の進む道にどのような前途が待ちかまえているのか、まったく見当もつかない。人々の意志に反して、科学が勝手な方向に走っていくことも十分に考えられる。

だからといって、自然科学はもうこのあたりで止めておこう……というのは暴論だろう。人間には知識欲がある。未知なるものを知ろうとする権利がある。権利という言葉が強すぎるというのなら、知ろうとする自由を持っている。誰もこの自由を阻止することはできない。ただ、知り得た科学的知識を利用するには、最大限の慎重さが要求されなければならないということである。

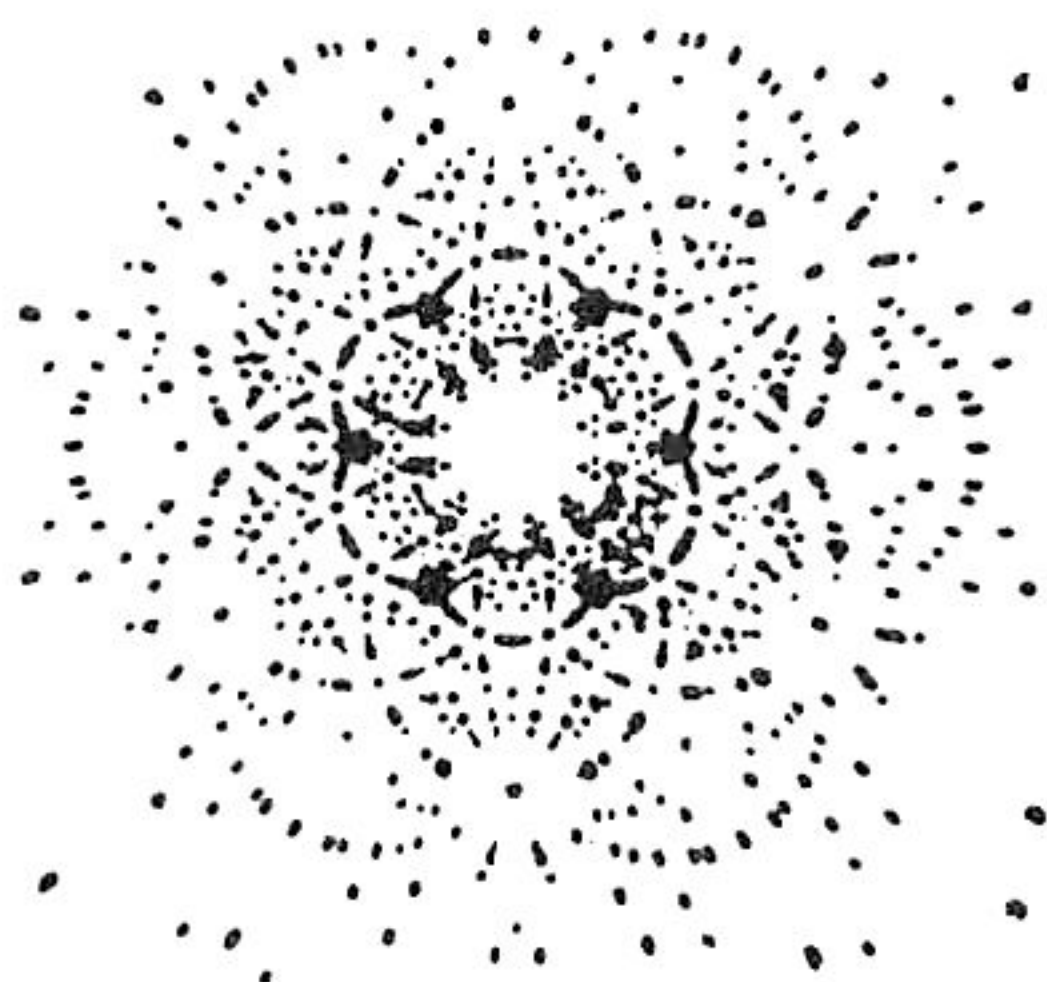
科学的な結果として考えられることは（たとえそれが机上の理論に終始しても――いや机上の理論だけにとどまった方が無難かもしれないが……）、これまたロマンに満ちた事柄が多い。宇宙飛行などがその代表例である。宇宙飛行に相対性理論を適用すると、摩訶不思議な結論に到達する。

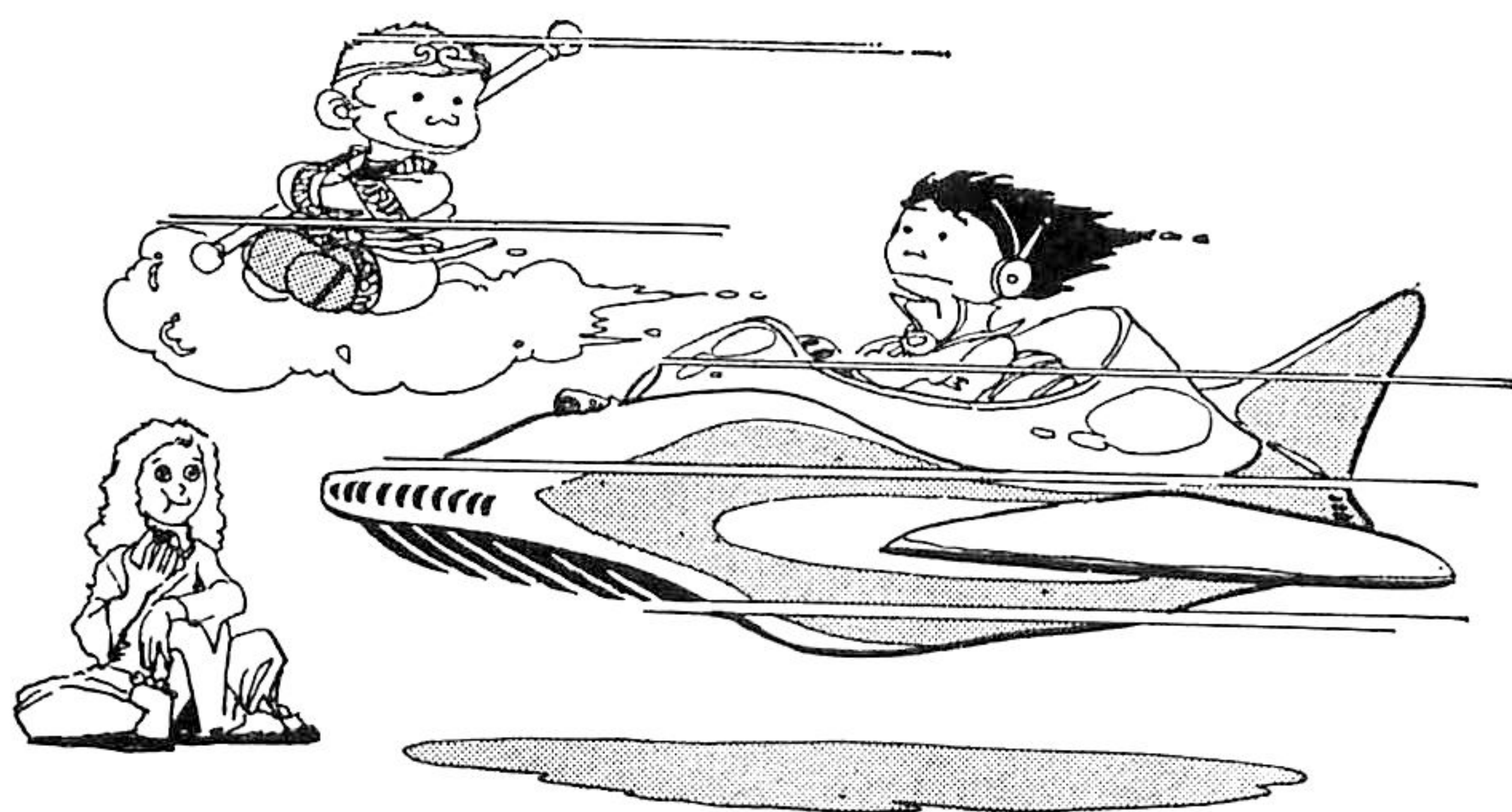
そのような飛躍的な空想とはちがって、もっと地道な研究は……現在でもかなり進められて、実用段階一歩前というようなことも二、三にとどまらない。たとえば本文に紹介したような反磁性という日常の事象とは逆の自然界の力が起こり、この反磁性を浮力にして、国鉄では宮崎県下で大規模な実験を行っているのである。そこでは新幹線も顔負けの高速列車の研究が精力的に推進されている。

もともとこの本は超常現象、つまり常識外の自然現象をテーマにした解説を頼まれ、講談社学芸局で新たに発刊された雑誌『本』に連載したものである。たんなる興味だけに終始するものについては、科学的基礎の裏打ちのないものが多い。それはそれなりの話として紹介し、全般を通しては特異現象中における科学の占める位置、現在の科学の果たしている役割、科学の骨子を将来にまで延長したと仮定したときの極限的な事象にまで言及したつもりである。つもりではあるが、自然界の複雑な現象を——身近な例にしろ、広大な宇宙を対象にするにしろ——説明するには、現在の科学はまだまだ不十分だと感ぜざるを得ない。現在の科学で（いいかえれば人間の知り得た理論体系で）、その現象の多様性といい、宇宙の広さといい、極微の世界のからくりといい、これを解きほぐそうとするのは、自然はあまりに大きく、これに対する人間の知恵はあまりに微弱である。微弱ながらも、何とか説明のできる

部分を抜粋したのがこの書物だと理解していただきたい。逆に科学がいかに無力なものか、その限界を読みとった……と考えていただければ——いささかずるいようだが——私はむしろ幸いだと思っている。

一九七七年秋

都筑卓司

もくじ

I 科学と脱科学

戦争末期のうわさ

不思議だとか、奇妙だとか感じる気持ちというか、あるいは好奇心とよんだらいいのか……とにかくそんな心理は、私の経験では、幼い頃ほど強かったように思う。おとな――といっても年寄りの場合が多いが――のしゃべる経験談やら、また聞きの話やらに、目をまるくして聞きほれたものである。

近所に火事があれば走っていき、近くの鉄道線路で事故が起きたと友が知らせれば何を措いてもかけだし……宮沢賢治の「かえ唄」ならぬ「かえ詩」のできそうな状態だった。

こんな心情を一生持ち続けたら、ジャーナリストとしての必要条件は満たされることになろうが、そこはそれ、年をとるにしたがって気持ちも変わっていくものである。「さめてくる」とでもいおうか、たいていの事には驚かなくなってしまう。「そんな事も、あるかもしれないなあ」になってしまうのである。

こんなわけで、「そのて」の話で、記憶に強く残っているものといえば、子供の頃耳にした会話が大部分である。こうした話は新聞には不向きであり、ラジオでも放送されなかった

（現在のように、ディスク・ジョッキーなどという番組があれば、話は別だが……）。テレビも週刊誌もないということになると、結局、口づたえしかない。つまりうわさ話である。

昭和十九年の十二月七日に東海地方大地震が発生した。マグニチュードは関東大震災の七・九を上回る八・三であり、東海地方から紀伊半島にかけて大きな被害が生じた。その頃東海地方に住んでいた私は、畑で仕事をしていたおばあさんが、立っていることができなくて、よつん這いになってしまったのを目撃した。記録によると、死者九百九十八人、住家全壊二万六千百三十戸、半壊四万六千九百五十戸となっている。

当時、太平洋戦争もかなり旗色が悪く（旗色が悪いと感じていたのは一般日本人であり、事実上はもはや絶望的だった）、大都市に対するB29の空襲も行われていた。東海道本線はさすがに数日で復旧したが、地震の後、かなりの間、列車の窓は閉めているようにとのおかみ（この場合、おかみとは軍部のことだと思っていい）からのお達し（つまり命令）だった。つぎのような理由によるものである。

沿線の工場が、かなり破壊されている。旅行者が車窓からこれを見たら地震による被害だとは思うまい。東海地方の軍需工場は爆撃でひどい損害を受けたと考えるだろう。これはま

ずい。国民の士気にかかわる問題だ。国をあげての総力戦の今日、多少なりとも戦意の低下があっては一大事である……。

とまあ、当時はこんな思想に支配されていたわけである。

ここで、列車の話をしようというわけではない。こんな風潮のとき、どこからともなくうわさが流れてきて、それが災害地方のかなり多くの人たちに伝わっていったのである。

地震のかなりまえに、遠州地方のある油屋に一人の坊さんが現れたそうである。今日では、油屋などといえば屋号かなにかだと思われるだろうが、当時は物品販売業の中にそんな店が確かにあった。私もごま油などを買いにやらされた記憶がある。とはいっても、油だけでなく、それに類似な商品もかなりてびろく扱っていたような気がするが、今でははっきりとは思いだせない。

「油を一升（一・八リットル）くれ」

といって、坊さんは「ざる」を差し出したそうである。ざるに油が入るはずはない。そんなばかな……いいから入れろ……の押し問答がしばらく続いたあと、そうまで言うのなら、というわけで油屋はざるに油を注ぎ込んだ……が、油は一滴もこぼれなかったという。

あっけにとられている油屋を前にして、代金を払った後、坊さんは静かに言ったそうであ

る。
「アメリカの物量攻勢のために、日本は危い。かなり追いつめられることになろう。だが……もし……大きな地震まで——そのうち、日本に必ず大きな地震が起こるが——もちこたえたら、日本は大丈夫だ。その後は……日本はきっと勝つ……」
こう言ったまま、坊さんは静かに立ち去った。
へんな人だ、というわけで油屋の若者が坊さんのあとをそっと尾行してみた。かなり足は速いが、若者も懸命にあとをつける。二、三回横町を曲がって、ある祠（ほこら）のあたりまで来たとき、前方にばかり気をとられていた若者は石につまずいてころんだ。
すぐに立ち上がったが、坊さんの姿は見えない。あわてて走ってみたが、右にも左にも人影一つない。完全に視界から消えてしまった。不思議なことがあるものだと思いつつも若者は仕方なしに油屋に戻って、このことを報告した。
以上がうわさ話の全部である。災害地のどのあたりで発生した話か、まったくわからない。油屋とか祠とかいうが、固有名詞のついていないところがいかにもうわさらしい。しゃべる人と聞く人と、どちらも真剣な顔つきだったが、はたして話を信じていたかどうかとい

うことになると、今にして思えば大分あやしい。信じるというよりも、むしろ願望の方が先に立って、それが話す方をも、聞き入る方をも、一生懸命にさせたのではなかろうか。なにしろ当時は、サイパンもグアムも取られ、ビアク島（ニューギニア北部）もペリリュー島（パラオ諸島）も玉砕し、アメリカ軍はとうとうフィリピンのレイテ島にまで押し寄せて来てそこで激戦中……というような、暗いニュースばかりだったから、日本人の、藁をもつかみたい気持が、うわさを拡散させていったのだろう。

戦後になって知ったのだが、この種の話はうわさの基本的なパターンのようである。坊さんが、婆さんや爺さんになることもある。ざるか箕に液体を入れてもらう。そのあとで、その時代のもっとも関心のもたれている内容を予言する。尾行者が倒れ、予言者は消える……。

提燈は招く

戦時中に聞いたいま一つの話は、太平洋戦争以前の、中国戦線のものだった。怪談じみた話や、神秘なうわさなどが生まれるためには、多少なりとももものを考えたり、自然を眺めたりする余裕が必要らしい。幽霊も、あるいは今日でいうテレパシーも、アメリカ相手の物凄

い砲撃戦のさなかでは、いささか舞台が違うようである。

日本のある農村で、中国大陸で戦っている息子の無事を祈るため（当時はこれを武運長久とよんだ）、年老いた父親と母親とが夜遅く、自宅の提燈（ちょうちん）を持って、村の鎮守の森に参拝した。石段を登り、提燈をかたわらの鳥居のわきに置き、二人は並んで神に祈った。

さて帰ろうとして提燈を探すと……見当たらない。おかしいなあ、確かにここに置いたはずだが、とそこらあたりを念入りに調べてみたがみつからない。まさか、こんな夜ふけに提燈を盗むものもなかろう。といって、風があるわけではないから、火が消えることも考えられない。火がついていれば、暗い神社の境内（けいだい）のことだ、すぐに所在がわかるはずなのに……まことにおかしな話だ。

とにかく変だとは思ったが、幸いわずかに月明かりもあるし、老夫婦は勝手知った道をわが家に帰り着いた。

翌日提燈は届けられた。村の子供が神主さんに頼まれたのだという。発見場所は昨夜の鳥居のわきだとのことである。老夫婦はわしらもすこし、ぼけたなあ……で、その場は終った。ただ、昨夜家を出るとき点火した新しい長いロウソクが、完全に燃えきっていたことまでは、二人は気が付かなかった。

一方中国大陸では、ちょうどその時刻に、老夫婦の息子である上等兵は、数名の兵士とともに斥候（敵状をさぐるために、ひそかに敵地に入り込むこと）に出ていたそうである。が、どうしたはずみか、彼一人道に迷ってしまった。暗い密林の中で、もの音を立てずに進む場合、起こりがちなことである。敵地の中で大声を出して仲間をよぶわけにはいかない。あちらこちらと探すうちに、ますますわからなくなってきた。

ときたま遠くから話し声らしいものが聞こえてくるが、どうも友軍ではないらしい。途方にくれた上等兵は大樹の根もとに坐り込んでしまった。このまま夜が明ければ、敵に発見されて射殺されるだろうと思うと、全く絶望的な気持になってきた。

ふと前方を見ると、木陰になにか明るいものがある。すわ敵か、と一度は草むらに身を伏せたが、明りは少しも動く気配がない。人間ではあるまい、とすれば敵兵ではない。撃たれることもなかろう、と度胸をきめて恐る恐る近づいてみると提燈である……が、驚いたことには、提燈に書かれている家紋はまさにわが家のものである。

こんな所にうちの提燈が……と思って、さらに近寄ると、提燈はすっと後退する。ちょっと待ってくれ、と言わんばかりに上等兵は前進すると、提燈はそれに応じて後方にさがっていく。

なぜ提燈が後退するのか、人もいないのにどうして提燈が動くのか……闇の中の上等兵はそんなことを考える余裕はなかった。ただ夢遊病者のように明かりを追った。提燈を見据えた彼の目には、敵に遭遇する恐れも、森の奥深く迷い込んでしまう恐怖もなかった。

草を分け、小川を渡り、立木の繁る中を追っていくと、急にあたりが開け、見馴れた村があった。本隊の駐屯地である。と、不思議や、今まで目の前にあった提燈はかき消すようになくなってしまった。なぜ提燈が現れそうして消えたのか、奇妙な話だがとにかく彼は原隊にたどり着くことができたのである。

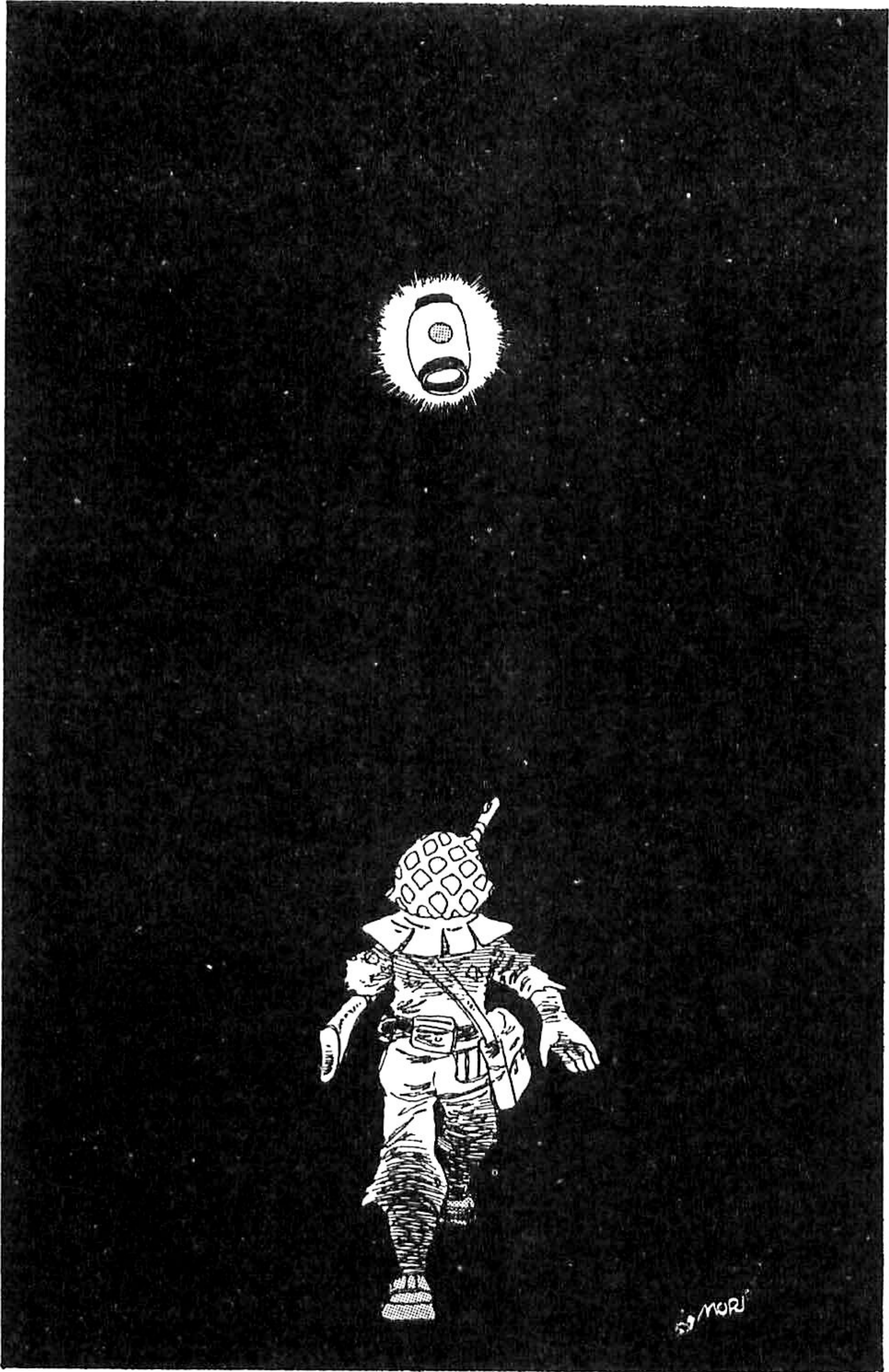
この話も、どこそこの誰というような名指しで広まったわけではない。話し手も聞き手も、そこまではせんさくしない。というよりも、誰がそのようなラッキーに会ったかはどうでもいいことである。話の内容の不思議さに人々は心引かれたのである。

これも、まえのうわさと同じように、かなり典型的なものであることを後に知った。軍事ものとしてばかりではなく、もっと一般に、迷える人を導いた明かりの話は、全国的に探しだしたらきりがないかもしれない。

精神は移動するか

前者の坊さんの話は、その時期の状況を離れて考えてみれば、うわさにすぎないと思うのがふつうだろう。地震のまえに、自分の耳で聞いたり（後になって、事前にそんなうわさがあったというまた聞きは、あまり信用できない）、活字になったものを見たりしたら、確かに驚異である。少なくとも地震を予想したという意味では……。

ただ、こういったうわさは、えてして、事後に広がるものである。「事前に聞いていたけど、誰も相手にしてくれなかった。今だからこそみなが感心してくれる」ということを事後に聞かされるわけである。こうなると、実のところ、信用していいのやら悪いのやら、こんがらがってくる。

地震予想はともかくとして、坊さんの予言はいただけない。これこそ事前の（つまり、敗戦のまえの）話である。予言どおりになるどころか、逆に日本は敗けてしまった。事実、この地震によって、中京地区の航空機工場は大被害を受けたらしい。天災も、敵に被害を与えたのなら、一応の話の辻褄（つじつま）は合うが、味方がやられてしまった事実と勝ちいくさとを結び付

けるのは、理屈としてもいささか強引である。

　提燈の話になると、私にもこんな経験がある、というような話がときたま雑誌などに掲載されている。おそらく、道に迷ってかなり昏迷状態になった人が、目の前に浮かんだうすぼんやりとしたものの後を辿って、生還できたという例は多かろう。それを神の加護と考えるか、あるいは偶然とみなすかは、その人の気のもちかただと思う。

　ただ、日本にある提燈がそのまま中国大陸に現れた、という話は信じがたい。こういう話になってくると「そのまま」とは何ぞや、というようなややこしい話になってきて、結局は信じる派と信じない派の論議は平行線になってしまう。もっともこうなると「信じる」という言葉の内容まで、個人差がでてきてしまう。

　このような物体の移動はさておいて、精神の移動、思考の遠隔伝達は信じている人が多い。ふつうこれをテレパシーとよんでいる。もっとも願望の遠隔作用（伝達とその達成）のようなものを、これと別視して、念力などとよぶこともある。

　物体の移動ということになると、どうしても話が物理学めいてくるので、その現象の中途の説明などという野暮なことはしない場合が多い。物体を、形あるままに猛スピードで走ら

すなどということは、ずいぶん無理な注文である。

これに対して、精神の方は形態がないだけに（物理的にいえば、分子とか原子とかで形成されたものではないので）、比較的納得しやすい。こんなわけで、テレパシーとか念力とかは信じる人も多く、研究会とか同好者グループなどがあると聞く。

私自身、テレパシーについてどう思うかと聞かれても、何とも答えるすべを知らない。ただ、それが伝達作用だということになれば、現在までに判明している物理現象以外のものは信じる気になれない。というよりも、むしろ「のる気がしない」と答えるのが当を得ているように思う。

四次元の移動

それこそ野暮な話になってしまうが、ほとんど瞬時にして空間を伝わるものは、電磁波とニュートリノ（中性微子）と重力波である。

電磁波とは、波長の相違によって、その用途や名称も異なっている。電波のうちでも中波や短波はラジオなどに使われ、超短波（ＶＨＦ）や極超短波（ＵＨＦ）はテレビに利用され

る。また極超短波はマイクロウェーブともいわれ、現在の遠距離電話はほとんどこれが用いられている。

さらに波長が短くなって、赤外線(あるいは熱線)、ふつうの光、紫外線、エックス線、ガンマ線となる。

ニュートリノという素粒子は一九三一年にスイスのパウリによって仮定され、一九三四年にイタリアのフェルミにより理論づけられた。とはいうものの、これはものすごい貫徹力をもち、地球さえも突き抜けてしまう。そのため実験器具によってキャッチされたのは、ずっと後のことである。

重力波(粒子的な言い方をすると重力子、英語でグラビトン)はアメリカのウェーバーが観測したといわれているが、あまりはっきりしたことはわかっていない。波動としての重力はともかくとして、重力場そのものも光と同じ速度で走るのである。

かりに宇宙のどこかで巨大な天体が出現したとしよう。当然空間には強い万有引力が生じるが、この「引力の影響」は光と同じ速さで進んでくるのである。星が誕生した瞬間に宇宙の彼方にまで万有引力が作用するわけではない。

位置が違えば、伝達には(速い遅いの違いこそあれ)なにがしかの時間がかかるということ

とは、物理的思考である。この意味で物体が存在する舞台は、三次元の空間と一次元の時間との双方を含めた四次元でなければならない。ある地点での思考が、時間の経過なく他の地点に到達するということは、四次元を強引に三次元に置き換えたデフォルメである。球を円とみなし、立方体を正方形といいくるめるのと同じである。

もちろん物理学の中にも、光より速い粒子という考え方はあるが、まだ仮定の域を出ていない。また脳波、嘘発見器はかなり精巧に開発されているが、これらはいずれも微弱電圧、電流の活用である。もし、外部からその人の「考え」を知り、さらには非常な遠隔地でそれに共感するということがあるのなら、従来の物理以外のものに頼らざるを得ないだろう。

私はテレパシーよりも、手品としての読心術の方により多くの興味を感じる。手品師は舞台の上で目かくしをして椅子に坐る。助手が客席に降りて、

「これは何ですか」

「眼鏡です」

「それは何ですか」

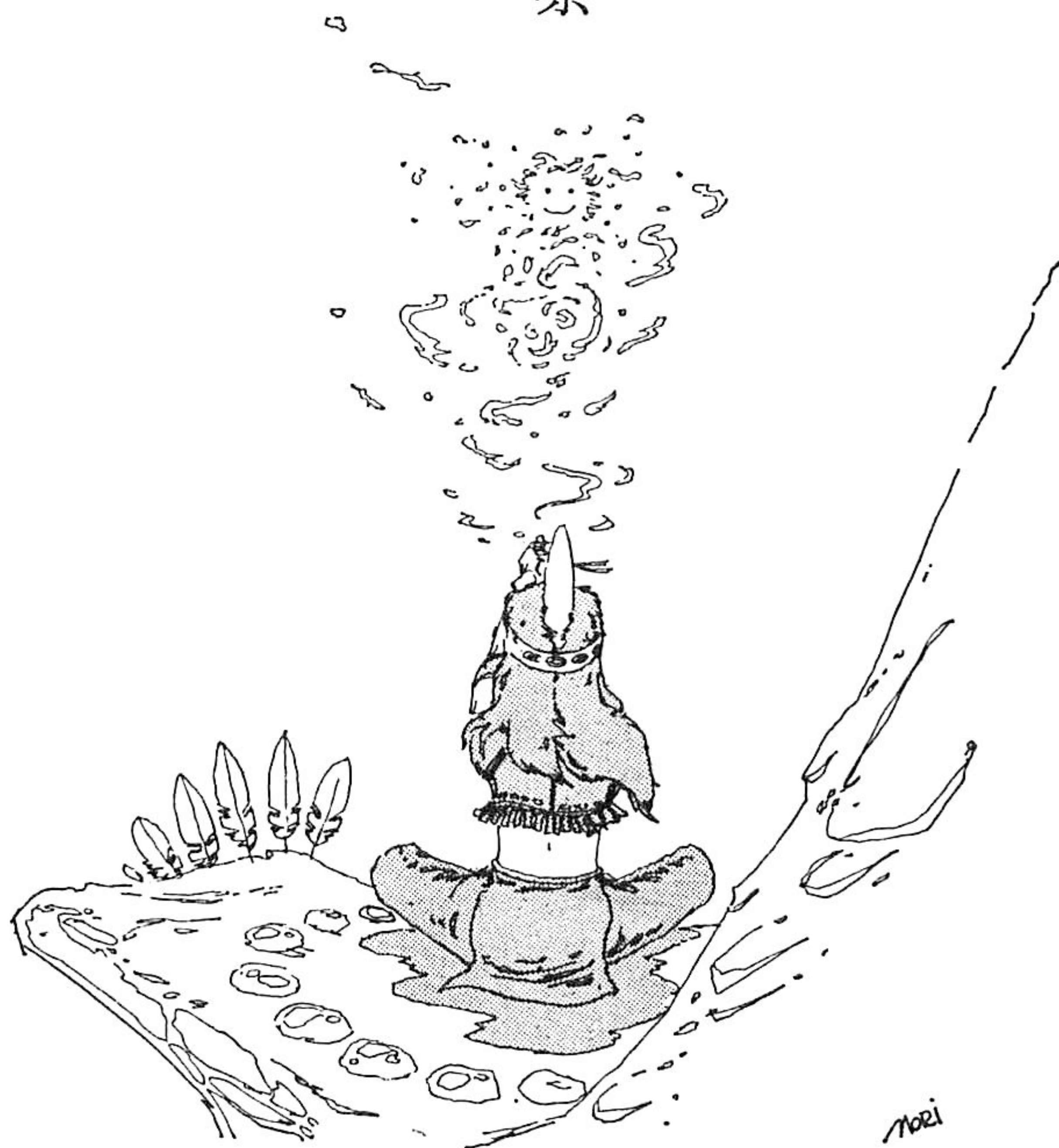
「財布です」

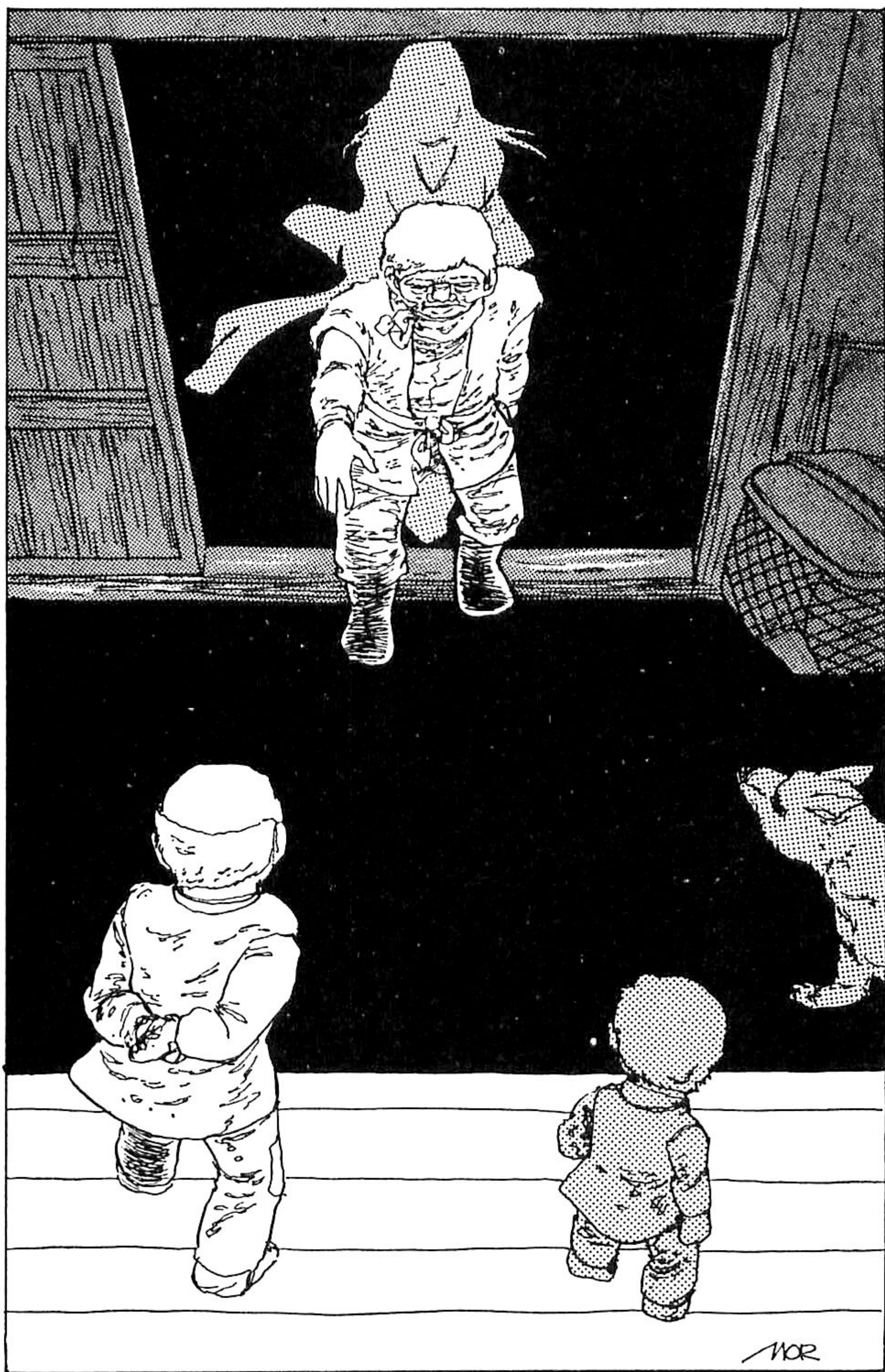
「それではこれは」
「千円札です」
「では、その番号は」
「ＡＮ７０７８７３Ｄ」
まさに驚嘆に値する。専門家に聞くと、助手のちょっとした言葉遣いやアクセントなどで、かなり複雑な内容まで暗号化することが可能だということであるが、それにしても、素人目には、よくまあ二人のいきがあれだけそろったものだと感心させられる。

しかし、最初に述べた坊さんや斥候兵の話は、科学などというものとは関係なしに、私は好きである。特にそれが、村の衆の寄り合いとか、農家の囲炉裏ばたなどで語りつがれるときには、忙しい現代生活で失ったものを発見したような感じがする。田舎の街道のささやかな店先で売られている民芸品の味である。
ただそれが、マスコミ的なレベルで報道されることになると、なぜかがっかりしてしまう。脱科学を旗印にしたテレパシーが、テレビという超短波や極超短波（これこそまさに科学的である）に乗せられて放映されるのを見ると、デパートで売られている民芸品を見せつ

けられるような気がして、興ざめしてしまう。

Ⅱ

霊の考察

ある夜のできごと

場所は山国の奥深い寒村、寒村というよりも村里から離れた一軒家といった方がいいだろう。深夜、この農家の表戸をたたく音があった。
「ちょっくらおねげえします。おねげえします。あけておくんなせえ」
はてさてこんな夜ふけに、しかも隣家までが数キロもあろうという離れ家に、誰が、何の用かといぶかりながら、老農夫はかんぬきをはずして戸を開いた。
入って来たのは中年男。人相は……必ずしも悪くはないが、着ているものは山野を跋渉してきたらしく、かなり汚れている。
「道に迷いまして……。あつかましいようですが……迷惑はかけませんから、物置の隅でもどこでもようござんす。一晩泊めてもれえませんか」
老農夫は、持ったロウソクの火で、男を頭から足の先まで照らしてみた。
実は……このようなことは、この農家にとってけっして珍しいできごとではない。岐阜県北部の飛騨一帯はほとんどが山地で、ここから日本海側の越中に抜けるには、険しい山脈の

間を通らなければならない。そのため、峠越えの道は、本道をも含めて、いくらもない。それらのうち、地図にものっていない小道の一つが、雑木林や草原の間を縫ってほそぼそと続いており、それが勾配の急な坂道を降りて、最初にたどりつくのがこの一軒家である。
そのため道に迷った登山者や疲れきった旅人がときおりこの農家の戸をたたくことになる。
そのたびに一軒家の老人は、ときには村までの道を教え、またあるときは水や食物を与え、陽の落ちた後には粗末な寝床ではあるが、快く一夜の宿を貸した。素朴な老人はそれがあたりまえのことと思っていたのである。
人のいい老人は屋外に立ったままでいる男にむかって、
「それはお困りじゃろ、遠慮なく入んなせえ」
といったが、そのとき老人の後ろにいつのまにかついて出てきた孫が「わあっ」と大声で泣きだした。
あまりの突然さに、老人も、男も、あっけにとられていると、孫の泣き声は増すばかり。
「こわいよう、こわいよう……」
とわめいて、老人にすがりつくのである。決して人みしりする子供ではない。これまでに

も何度か、未知の客を囲炉裏ばたに招いたことはある。子供はその都度、年寄りの話や客の語ることをおとなしく聞いていた。

よほど虫のいどころが悪かったのか、さきほどのうたた寝で怖い夢でも見たのか、孫の泣き方は尋常ではない。

なだめようとしているところに、飼い犬のクロが奥から走り出てきて、これがまた物凄く吠え始めたのである。それが……やたらに吠えかけるというのではなく、恐怖の表情でいま来たばかりの男にたちむかい、ときには後ずさりをして唸り声をあげるのである。

この犬も、ふだんは見知らぬ人だからといって、すぐに吠えるようなことはない。山野を跋扈する怪しい獲物に出会ったときとか、人間の攻撃的な態度を感じとったときは別だが、今夜の客に不審なそぶりはみえない。それともどすでも呑んでいて、一家みな殺しを考えているのだろうか。しかし、こんな貧乏家に押し入ったところでとるものもなかろうし、だいいち、それを見抜けるほどこの犬は利口ではない。

子供と犬とのなき声……老人はもてあました。

「とめてあげてえのはやまやまだが、……何だか知らねえが、ごらんのとおり子供と犬がばかに騒ぎゃあがるんで……。今夜のとかあ、村まで行っちゃあくれませんか。ほらそこの

道、あの小道をたどって行きゃあ間違いなく村だでなあ。今夜は月も明るいし、おまえさんの足なら小一時間もかかりゃあしめえ」
深夜の客は黙って頭を下げると、そのまま足速やに去って行った。
「ばかやろ、人が来たぐれえで泣くやつがあるか」
と老人は子供を叱りつけ、ふたたびかんぬきをかけて自分も寝床に入った。
それから三時間あまり、またもや激しく戸を叩く音がする。
「じいさん、じいさん、ちょっくら起きてくれんか」
これは聞きなれた駐在の声である。寝巻きの上にマントを羽織って、あわてて戸をあける。子供は眠っている。犬も駐在には一声も吠えない。
「じいさん、男が尋ねてこなかったかや」
人相など聞いてみると、まさしくさきほど来た男である。
「ああ、来たけどすぐ村の方に行ったで。いったいどうしたんで……あの男はお尋ね者……」
「そうだ。人を殺め(あや)やがってな。それも庄屋のご新造さんをな。おらあ知ってる、そのご新造さんを……そりゃあ別嬪(べっぴん)でな、髪が長くて顔が白くて。それがな、脳天を薪割りで一撃だ

そうだ」
駐在はなお手短かに知ってるだけのことをしゃべって、匆々に立ち去った。
この山奥に、とんだ事件が起こったものだと老人は寝室に帰ったが、隣に寝ている孫がしきりにうなされている。
そうそう、この子がもし泣かなかったら、あの男を泊めるところだった。もし泊めていたら、あるいはわしらも同じように……と改めて考えてみると、思わず首筋が寒くなった。
それにしてもうなされ方がひどい。かつてないことである。
「おい、どうしたんじゃ。こわい夢でも見てるんか。夢は夢じゃい、こわいことなんかありゃせん、一度目を覚したらええ」
老人は孫をおこした。ふとんに坐って……しばらくは寝ぼけまなこであたりを見回していたが、おじいさんの顔を見るや、しがみついて来た。
「何じゃい、男の子が。おまえは強い子じゃろ。狼だって猪だって、ちっともこわいこたあ、ありゃあせん。夢なんかにうなされおって……」
「夢じゃあないんだ、夢じゃあないんだ、本当なんだ……」
「そうそう、おまえはあのとき急に泣きだしたんだなあ、あの男がそんなにこわかったか」

「男の人じゃあない、男の人じゃあない」
「男じゃあない？　じゃあ何だ。そういやあクロのやつもばかに吠えおって。いったい何がこわいんだ」
「男の人じゃないんだ、男の人じゃあないんだ」
「だから何だと聞いているんだ」
「あの男の人の後ろに、髪の長い血だらけの女の人が立っていたんだよう……」

亡霊を見た？

この話はかなり古いころ、何かの雑誌で読んだ覚えがある。話の細部は忘れてしまったが、あらすじはこんなものであった。

終戦以前に読んだことは確かである。〝読んだ〟ことよりも、この話を〝覚えていた〟ことの方がはっきり記憶に残っている。灯火管制でどこの家もうす暗い光しかないとき、何人かの友だちを集めて、ポツリポツリとこの話を語って、最後のところで「血だらけの女が……」と一声はりあげたら、聞きての一人がキャッと叫んだ。

語りの終わりの部分で、ぎょっとさせるのにはかっこうの筋であり、この話も最初は伝説か、あるいは誰かの創作だったものが、つぎつぎに伝えられてきたのだろう。語り手に（あるいは書き手に）才能があればあるほど、内容に凄さが増して、興味は盛りあがる。真実性の是非を問うよりも、話の中身だけが問題にされていく。

亡霊を見たという話は、昔も今もかず多い。ここでの語り伝えのように、殺人犯の背後に立っていたというのは不気味さもひとしおだが、交通事故での死者の姿が、深夜現場を走る自動車（ときには列車）の運転手の目に入った……などというわさは、かぞえあげたらきりがない。

また、たんに姿を見たというだけでなく、タクシーに乗せたという話も昔からかなり語られている。それもたいてい筋が似ていて、青白い女を暗い道で乗せ、目的の家まで行ったところ、後部座席の女はいない。その家の住人に聞くと、その女はすでに故人……つまり幽霊ということになる。そこで運転手が後部座席を見ると、ぐっしょり濡れている。……そのあと、運転手は三日三晩高熱にうなされる、などのしめくくりがついていることが多い。

これらの話の主人公は、痩せがたの女性に限定されなければならない。肥満体の社長ふうの男が乗り込んで、「運転手君、どこそこまでやってくれたまえ」では、コミックになって

しまう。
クラシックな幽霊は、柳の下にいて、頭に三角布をつけて、足がないものときまっていた。マスコミが発達し、怪奇現象が世に広められるとともに、霊媒、霊魂などがとりあげられるようになった。活字の上だけなら、そういうものもあるのか、ということになり、あとは〝信じようと信じまいと〟の言葉どおり読後感は読んだ人の個人的な考え方次第である。
ところが写真やテレビが広まるにつれて、死者の姿が（必ずしも死者ばかりでなく、行方不明の人物などが問題になることもあるが）、いるはずのない人物がうつっている……というようなことも話題になっている。柳の下の三角布では陳腐にすぎて超能力評論家も扱わないが、たとえば記念写真の後方に、死人の姿がぼんやりうつっている……などは、テレビでもよくとりあげる。
もっとも、〝写真内の幻影〟というのは意外性が大きく、ヒッチコックの推理ものなどにも出てくる。殺したはずの人間（実は殺されていない）が写真の中にいる。殺しに手をかした女性はこれを見て仰天する。結局心臓の悪いこの女は、殺したはずの男に追いつめられて心臓麻痺（まひ）で死ぬことになるのだが、霊媒を問題にする人たちは、このようなリアルな話を対象にしているわけではない。トリック抜きで、実際に霊が見える……というところが、主張

の中心になる。ということになると、〝見える〟とはどういうことかをもう少し考えなければならない。

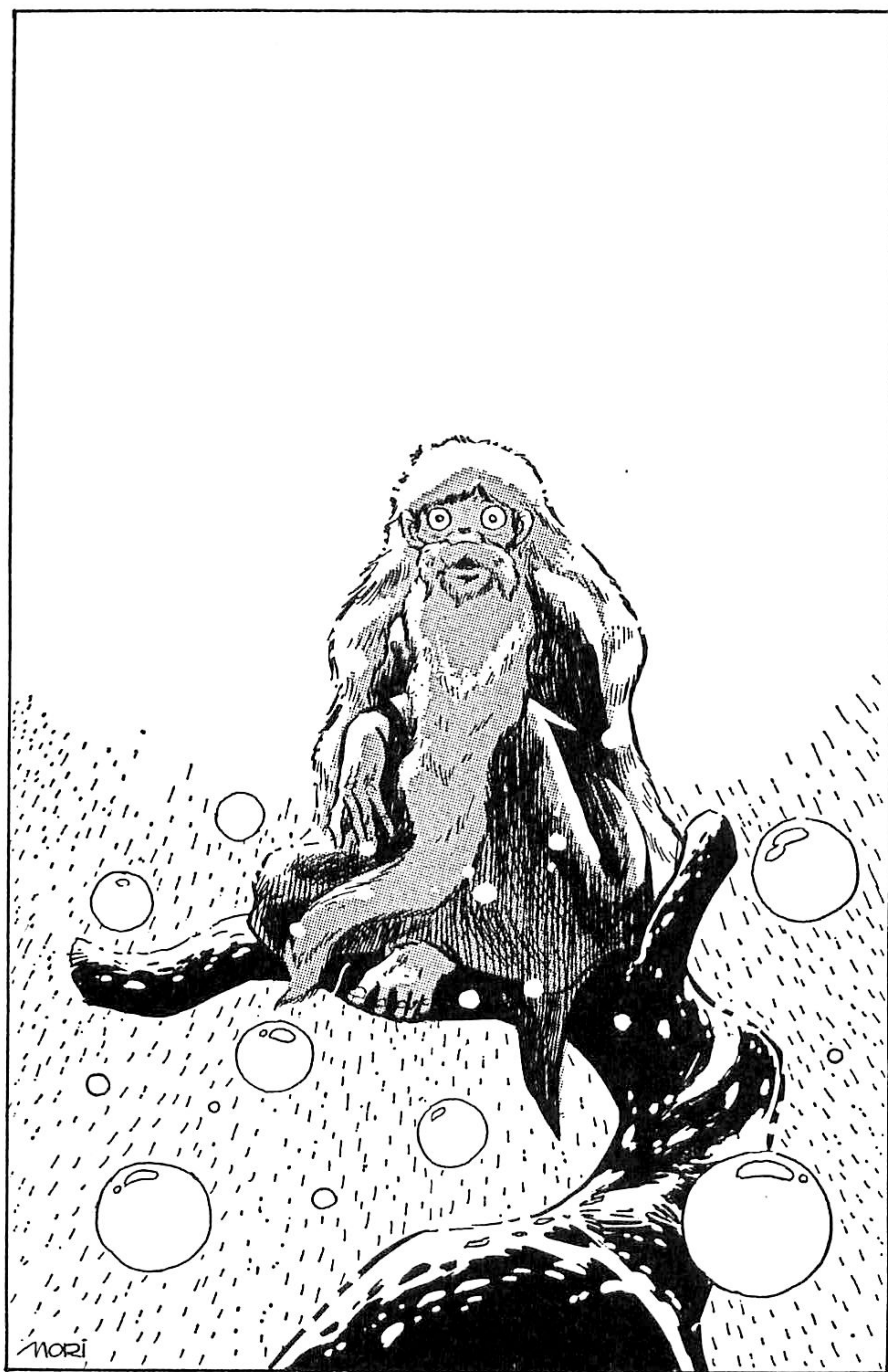
見えるということ

見えるという事柄は、波長が〇・三八ミクロン（ミクロンは一ミリの千分の一）から、〇・七六ミクロンの間の電磁波が目にとび込む現象をいう。電磁波には、長い方では波長が何キロにもおよび、短いものは一メートルの一兆分の一にもたりないものまであるが、その中で目に見える領域のものを可視光線、ひらたくいえば〝ひかり〟である。自然界に存在する物理的な量のなかで、同じ性質のものでありながら、これほどまでに幅広い〝値〟をもっているものは珍しい。波長の長いものは電波といい（超短波とかマイクロウェーブなども、ふつうには電波という言葉で包括する）、短い方はエックス線とかガンマ線とか称して、その効果や用途は大そう違っているが、同じ性質のものであるということには変わりはない。砂と大きな岩とが同質異量（ともに酸化ケイ素などを主体とする物質）であることと、同じ意味あいのものである。

話はまえにもどって可視光線だが、人間の波長に対する分解能――もっと常識的ないい方をすれば色の違った対象物を「違う色」として判別する能力――は他の動物、特に他の哺乳類にくらべて格段にいい。色を七つに分けるというのはあくまで便宜的な説明であり、おそらく人間は、色に対しては無意識のうちに無限に近い種類分けをしているのであろう。人間のもつ〝美しい〟という情緒も、このこととは無関係ではあるまい。

さきほど犬の話がでてきたが、チンパンジーなどわずかの類人猿以外の哺乳類は、色の識別ができない。闘牛が赤い布を見て興奮するというが、これはつくり話で、動物は一般にひらひら動くものに神経をとがらす、というのが定説のようである。要するに人間はカラーテレビの世界、馬、犬、猫などは白黒テレビの世界に住んでいる。

元来人間は、頭脳の発達と手先の器用さ以外の面では、他の動物とくらべてあまりすぐれているところはない。色の識別だけは例外といえそうである。

もっとも、下等動物になると逆にまた色の区別が可能になるらしい。特に蜂、バッタなどの昆虫になると色を意識する。ただ、多くの昆虫は可視部領域が人間とは多少ずれていて、紫外部は人間以上に見えるが（つまり人間には見えないほどの紫が昆虫には意識できる）、赤い方は人間ほどには見えないらしい。

これとは逆に爬虫類のあるもの、たとえばガラガラ蛇などは、可視光線の中央部の〇・六ミクロン以上から、ずっと赤外部の方まで意識する。写真のフィルムにうつる程度の赤外線は、人間にはとても感知できないが、ガラガラ蛇はいちはやく発光源（正しくは発熱源というべきだろう）をみつける。

猫やふくろうは夜目が効くではないか、人間よりはるかにまさっていることは実証ずみだといわれるかもしれないが、これと波長の分解能力とは全く別ものである。猫の世界は灰色一色だが、ほんのわずかの光でも察知する。この点では人間の目は、あまり高級品とはいえない。また遠方の小さな物体を認めるという能力も、人間は他の動物に及ばない。このような動物的能力を、訓練によって補おうとしたのが昔の日本軍（特に海軍）であり、可視光線の捕捉能力には限界のあることを認めて、長波長部（つまり電波）をキャッチする器械の研究の方に主力を注いだのが相手国のやり方であり、その結果はご存知のとおりである。

ついでだから視覚以外のことを調べてみると、人間の聴覚はまあまあというところである。音も波動であるが、電磁波とは全く違う空気の振動である。光は波長で表わすが、音波は振動数（周波数ともいう）で表現するのが一般であり、人間の可聴領域は二〇ヘルツ（Hz）から二万ヘルツの間である。これに対して多くの動物は、可聴領域が（特に高振動部分で）

もっと広い。犬は人間に聞こえないような高音を感じとるし、コウモリは超音波（人間に聞きとれないほど高い音）を出し、それの反射音を聞きながら、障害物を避けて飛び回っている。また微弱音を聞きとる能力も、多くの動物は人間よりもはるかにすぐれている。
匂いについては、パリあたりでは数百種類の香水をかぎ分ける職人が多いと聞いているが、それでも動物にくらべたら問題にならない。犬の嗅覚がひじょうに発達していることはよく知られているが、蟻のような小動物でも、匂いによって相互に情報の交換をしているという。

赤外線は闇を捉える

幽霊や、写真に現われた幻影に科学を当てはめようと試みたところでどうにもなるものではないが、とにかく〝光のたぐい〟の科学的性質はここに述べた範囲をでない。
近視や遠視のように焦点の定めにくい人や視力が弱くて強い光でないと見えない人、あるいは色の区別のつけにくい人はあるが、可視部領域のせまい人というのはあまり聞いたことがない。かりにAには見えてBには見えないということなら、あまりに常識的だが、視力の

違いと考えるほかはない。

味覚と嗅覚とを別にすれば、個人差のあるのは、音の、(可聴領域ではなく) 発声領域くらいのものであろう。『理科年表』によれば男性ではバスが九〇ヘルツから三〇〇ヘルツ、テナーが一二〇ヘルツから五〇〇ヘルツ、女性ではアルトが二〇〇ヘルツから七〇〇ヘルツ、ソプラノが三〇〇ヘルツから一〇〇〇ヘルツをやや上まわる程度となっている。

再び見る方の話になるが、赤外線フィルムを使えば、他人に見えないものをフィルム上にとらえることが可能になる。特に暗闇での撮影にはこれが利用される。魔術師とか霊媒師とか称するものをこっそり赤外線写真で写したら、踊るメガホンは暗闇で助手が支えていたとか、三本めの手というのは実は後ろにいる他人の手であったなどという話もあるが、現在では赤外線の知識も普及して、魔術師も対策を考えるようになったようである。

赤外線写真はこのほかにも効用が多い。もやの中、霧の中でも風景が写せるのである。霧などは浮遊水滴の集まりであり、その大きさは一ミクロン程度のものが多い。波は自分の波長より大きい物体に当たればはね返るが、波長以下の小物体に対しては、そのまま通り過ぎてしまう。海中に立った杭に対して、波浪はなにごともなかったようにその後方に進行していくのを見ても、このことは頷かれる。琵琶湖上空あたりからとった空中赤外線写真で、富

士山がはっきりと姿を現しているのを見たことがあるが、要するに赤外線写真は曇天を晴天にしてしまうのである。

この赤外線写真で、霧の中や闇夜をうつしたら異様なものがフィルムの中に現れたというなら、（種や仕掛けがないかぎり）これはまさに奇怪物語であるが、私はまだこのての話は聞いたことがない。おそらく、赤外線などというと、なにかむずかしい科学的な秘密をこっそり使っているような感じがして、科学技術さえ用いればどのような映像もつくりだすことができる、という印象を与えるためであろう。

しかし再三述べたように、赤外線とて光と何ら変わるところはない。光だろうが赤外線だろうが、おかしなものはおかしい。もし妖怪変化（へんげ）がいたとしたら、かえって濃霧の中などで気晴らしの運動でもするのではなかろうか。あまり世間を騒がせないために……。

しかし人間は可視光線の方を信用する。〝写真の中の謎〟などと紹介されるのも、いずれも通常のフィルムである。それでは、それらが赤外線フィルムだったら……おそらく事態は同じことだろう。霧状の小水滴のようなものは別として、可視光線を反射するくらいのものなら、赤外線をも同じように反射するだろうから。

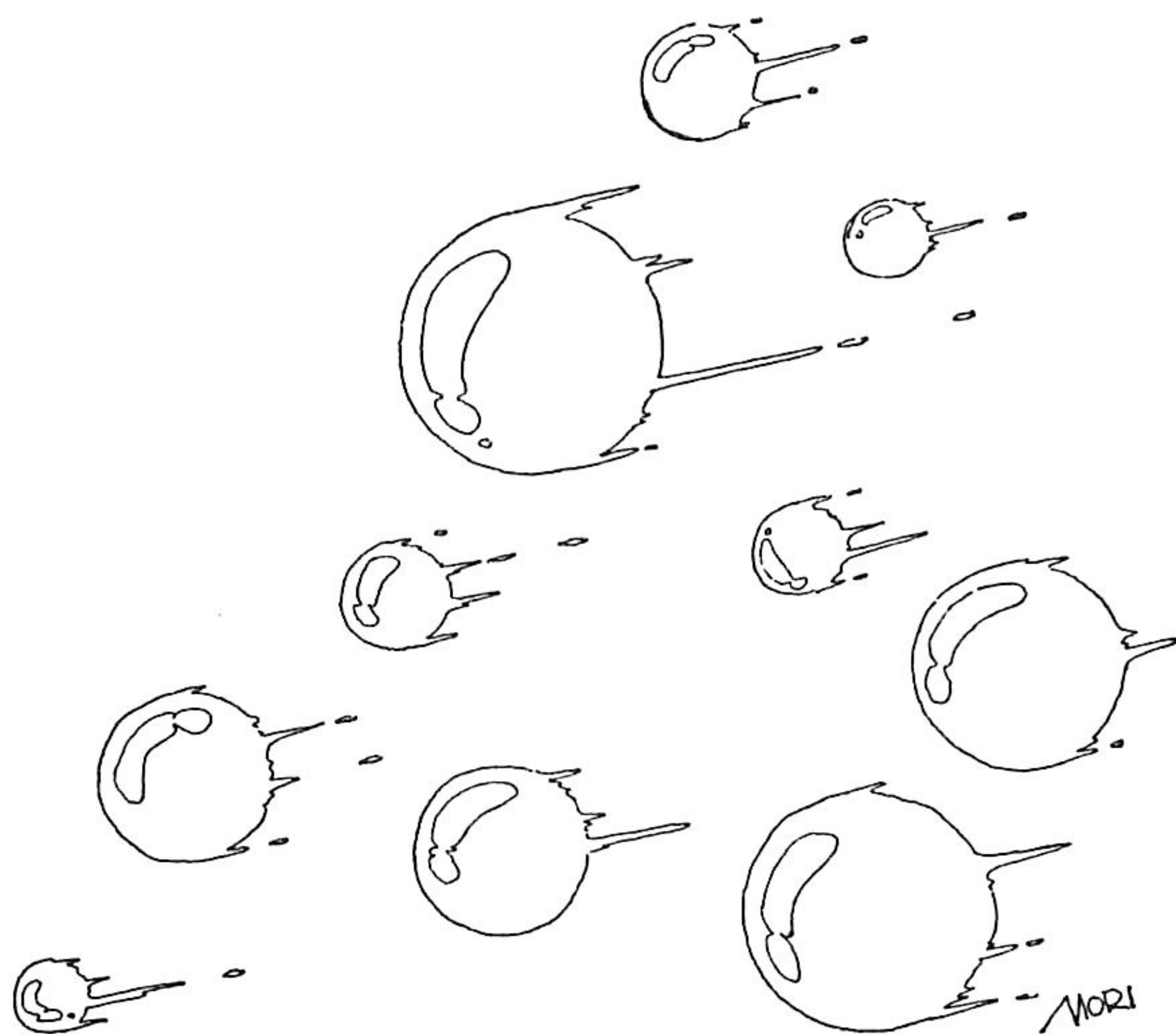
人魂の光と科学の光

見られる立場の方は、物理的にはどうなっているのか。これは、それ自身が発光する場合と、他の光源からの光を反射する場合とに大別される。太陽、照明灯、火以外のほとんどは後者である。

幽霊、亡霊、写真の中の幻影、そんなものがもしあったとしたら、それは発光体なのか、それとも反射体なのか、そのへんのところもあまりくわしく説明されていない。

実をいうと、物質の電子論的な機構として、発光体と反射体との中間的なものが存在するのである。ふつうの場合には、物質は高温になったとき熱とともに光を出すが、特殊な物質では他から光を受けると（あるいは電子が衝突すると）、物体の中にあった（別の）電子がエネルギーの高い状態になり、それが不安定なため再び低い状態に落ち込む。このとき光を出す。要するに光をすぐに反射せずに、いったん抱え込んでから再放出するわけである。厳密にいうとすぐさま再放出するものを螢光、多少なりとも間をおいて発光するものを燐光とよぶが、広い意味では両者を総称して螢光という。これはふつうの光のような発熱作用はな

い。
火の玉や人魂は、「うらめしや」と同様にいささか時代遅れだが、墓地などで腐敗物質などが燐光を出すことは充分に考えられる。
螢光は、多くの家庭の照明やテレビのブラウン管に活用されているのはご存知のとおりである。それどころか、現在ではセレンやカドミウムのような物質を用いて、これを壁いっぱいにぬり、微弱電流で部屋全体をやわらかな光で包むルミネッセンスという発光装置が開発されている。
電子工学の粋が人魂だとは、おもしろいというか皮肉というか、何とも奇妙な感じがする。

Ⅲ 超流動の世界

バミューダ・トライアングル？

バミューダ海域の謎というような題で、最近アメリカで多くの出版物が発行された。日本でも、単行本や雑誌などに紹介されている。

バミューダ島とは、アメリカ合衆国の東海岸から一〇〇〇キロほど沖にある大西洋上の島で、この島を中心とする大きな三角形の範囲内が魔の海域だというのである。三角形の底辺は西インド諸島に沿ってほぼ東西にのび、頂点はカナダのニューファンドランドの沖合になる。この領域は、結局アメリカの大西洋岸全領域をおおっている。特に南端のフロリダ半島の先あたりでは東西に長いから、マイアミ付近から東へ航行する場合には、長時間、魔の領域を通らなければならない。

魔の海域として問題にされだしたのは、太平洋戦争直後のことらしい。一般に、空飛ぶ円盤にしろ、バミューダ海域にしろ、あるいはもろもろの妖怪変化（へんげ）のたぐいにしても、その多くは平和時の産物である。昔の日本を知っている人なら、

「そんなデマをとばして、人心を迷わすとはまことにけしからんやつだ。ちょっと憲兵隊ま

Ⅲ　超流動の世界

で来い」

ということになるのは、想像に難くはないだろう。外国でもそのとおりであったかどうかは知らないが、怪奇現象よりも敵方の動向に目を奪われている間は、船舶の消失も、航空機の行方不明も、敵の不意の攻撃のため……ですべて片付けられてしまう。アメリカ大陸にとほうもない大きな風船が降ってきたなどという話も、もし戦時中でなかったら、バミューダ以上の大騒ぎになるかもしれない。

バミューダの話は、一九四五年の暮れに、五機の海軍雷撃機が突然に消えてしまったことに端を発している。アメリカ陸軍のムスタングや海軍のヘルキャットなどの戦闘機は戦争末期に日本本土を襲って、その型に見覚えのある人も多いが、三人乗りの単発雷撃機アベンジャーも、洋上の戦闘では日本の艦船に手痛い打撃を与えている。このアベンジャーが五機、十四人の乗員とともに（一人は欠員だったらしい）フロリダの沖で突然に消えてしまった。

これは大変だとばかりに、すぐさま双発エンジンの飛行艇が十三人の乗組員を搭乗させて捜索に飛びたったが、これも梨の礫、それっきり消滅してしまったとのことである。

アベンジャーの方からは、最後に意味の不明な無線電話が入ったととりざたされているが、とにかくダブル遭難したことだけは確かである。

このことだけだったら、突発的な乱気流またはそれに類似な原因が推定されるが、その後しばしば、この領域で似たような遭難事故が繰り返されている。一九五〇年代まではプロペラ機が、六〇年代から七〇年代にかけてはジェット機の行方不明が多い。もちろん軍用機にかぎることなく、民間の旅客機も消息を断ったといわれる。そうして多くの場合、十人前後の乗員を乗せた輸送機や、あるいは単座（一人乗り）の軍用機にしても、それが編隊ごとそっくり消えてしまっている。つまり多数の人間の同時消滅である。航空機ばかりでなく、船舶もずいぶん消滅しているらしい。こちらの方は必ずしも戦後だけのことではなく、資料をたぐっていくと、十九世紀のころから多くの帆船や機帆船が消えてしまっているとのことである。もっとも帆船などの場合には、乗組員だけが蒸発してしまって、ぼろぼろになった幽霊船だけが不気味に大西洋を漂っている……というような、怪奇ドキュメンタリーさながらのケースも少なくないらしい。もし乗組員の惨殺死体でもあれば（あるいは血痕でも残っていれば）、海賊とか船員の反乱とかが予想され、遺体がころがっていれば疫病の急性な伝染が考えられるが、ひとっこ一人いないとなると全く不思議というほかはない。ときには鳥籠の中のカナリアだけが生存していたなどということになると、不気味さはいっそうである。

もちろんこの間には、アメリカの南北戦争（一八六一～一八六五）、米西戦争（一八九八）、

さらには第一次、第二次世界大戦を経過しているから、敵の攻撃で沈んでしまった艦船も多かろう。特に前二者では無線通信はまだ発達していなかったし（イタリアのマルコーニが無線電信を発明したのは一八九六年）、世界大戦では潜水艦などによる不意の魚雷攻撃や触雷（海中にある機械水雷に触れること）による瞬間的な爆沈（このごろではあまり使われなくなったが、戦時中は〝轟沈〟といった）が考えられる。しかし、このような戦時遭難を除いても、なおバミューダ海域での船の消失はひじょうに多いというのである。

無線通信の発達以前のことはさておき、特に注目されるのは、航空機にしろ船にしろ、消失時に、基地に対してほとんど情報らしいものを送ってこないということである。ときにはSOSが入ることもあるが、そのあと「視界がまっ白になり、なにも見えなくなった」とか、「計器が狂って、位置も方向もわからない」とか、「大変な危険が迫っている、脱出できない……」とかいうようなもので、このようないい伝えによって、バミューダ海域の謎を深めている……と喧伝されるようになった。

予想の外にあること

バミューダ海域は確かに「謎」ではあるが、それが現在の科学ではまったくはかり知れない現象であるのかどうか、いいかえると気象とか海洋などを中心とする広義の地球物理学の研究の遅れ、あるいは観測の不備……ということではなしに、もっと異質の原因があるのではないか、と問われると……残念ながら私にはわからない。答えるすべを知らない。しかしそれが、四次元の空間に吸い込まれるとか、バミューダにブラックホールがあるとか、宇宙人に連れ去られたとかいう話になると、少なくとも私はその説にあいづちを打つ気がしない。もともと四次元というのは、三次元の空間軸に時空軸を加味した数学的形式のことであり、ブラックホールは極度に高密度の天体の付近に生じるものであり、その天体の質量は太陽の数倍であることが必要である。また宇宙空間に人間以外の知識動物が存在することを否定するものではないが、いま少し生物学的な(もっとつっこんでいえば有機分子論的な)説明なり測定・実験などの資料がほしいような気がするのである。

船舶などの消失は、必ずしもバミューダ領域にかぎったわけではない。たとえばわが国の

海上保安庁の調査船第五海洋丸はSOSの発信もなく、忽然と消えてしまった。これは一九五二年の明神礁の海底火山の調査におもむいたものであり、おそらく再度の爆発に飲みこまれてしまったのであろうが、バミューダを謎とする人たちの一部は、小笠原諸島方面も同じように謎の海域だと主張している。

しかし、それらの人たちがとりあげていない領域でも、船の消失はある。古い話だが、日本の軍艦が行方不明になってしまった。明治の中頃から、日本海軍はイギリスやその他の諸国から大型軍艦を購入した。『三笠』を初め、当時の戦艦、巡洋艦の多くはイギリス製だが、これらに先だって明治十九年に巡洋艦『畝傍』をフランスに注文し、インド洋を通って日本に回航されることになった。ところがこれが、現在のインドネシアあたりまで来たことはわかったが、その後全く消息を断ってしまった。

いまどき「軍隊の経験では」などという話をもちだすのもいささか気がひけるが、とにかく軍隊(平時、あるいは戦場でない場所)では、小銃の部品一つをなくしても一大事である。それが……軍艦をまるまる一隻見失ってしまったのである。艦艇の破損は必ずしも珍しいことではない。最も大きな事件は昭和十年の秋、三陸沖で駆逐艦の『初雪』と『夕霧』が、ともに艦首を折ってしまった。しかしこちらは艦をこわしたのであり、『畝傍』はなく

したのである。もちろん『畝傍』の場合は一人の生存者もみつかっていない。おそらく南シナ海で嵐のために沈没した、というのが定説になっている。

要するにバミューダ以外の場所でも、消失事件はかなり多いのである。証拠がないため遭難原因を追究するのは至難だが、消失事件を何でもかでも神秘化するのは、私は好きではない。

バミューダが謎であるかどうかは私にはわからないが、それよりももっと現実的な（というよりも一部始終がよくわかっている）タイタニック号事件の方に――私は大きな興味をもっている。バミューダ海域で千人以上の人命が失われたといわれているが、客船タイタニック号の方は一隻で、千五百人ほどが死亡した。遭難場所は、ちょうどバミューダの三角領域の頂点付近にあたるが、この事故は（あまりに遭難の過程がはっきりしているせいか）、バミューダの謎の中には加えられていないようである。

一九一二年の四月十日、イギリスの豪華船タイタニック号はサザンプトンを抜錨（ばつびょう）し、アメリカに向けて処女航海の旅に出た。大正初期の四万トン級の客船といえば、超一流である。これが出航後数日で流氷に接触し、船底に穴をあけた。

これ以後のことは、多くの書物や映画などで紹介されている。視界内に一隻の貨物船がいたが、貨物船側の通信士がレシーバーをはずしていたためSOSが伝達されず、結局二千二百一人の乗員のうち、救助されたものは七百十一人にすぎない。

タイタニック号が流氷に衝突したとき、船中の人にはほとんどそのショックが感じられなかったという。したがって、船底の穴はそれほど大きくないはずである。それなのになぜこの豪華船は沈んでしまったか。

このへんの話になると、書物によって多少違っている。竣工早々で、乗組員のこの船に対する知識が乏しく、そのため防水扉などの扱いが不慣れで船を沈めてしまったとの説がある。これとは別に、映画などでみると、設計担当者がこの処女航海に乗組んでいて、衝突後に船長室で破損状態や浸水箇所の報告を聞いて、設計図の前でしばらく考えこみ、やおら「この船は沈む」と宣言する場面がある。設計上のミスか、事後処理の不手際かはともかくとして、タイタニック号の船底に穴があくなどということは、おそらく予想外のアクシデントであったのだろう。

壁をのりこえる液体

タイタニック号はなぜ沈んだか。底に穴があいたからである。それでは「問い」を逆にして、なぜ鉄製の（正確にいえば比重が水より大きい）船が海上に浮くことができるのか。簡単に答えれば……船の内部がくりぬいてあるためである。船が激しくかたむいたり、大きな波浪でもないかぎり、浸水することはない。穴なしで海水を船内に入れたいなら、サイフォン（海と船内に山なりの中空の管を渡し、海水側の管口よりも船中側の管口を低くして水を導く仕掛け）を利用するしかない。

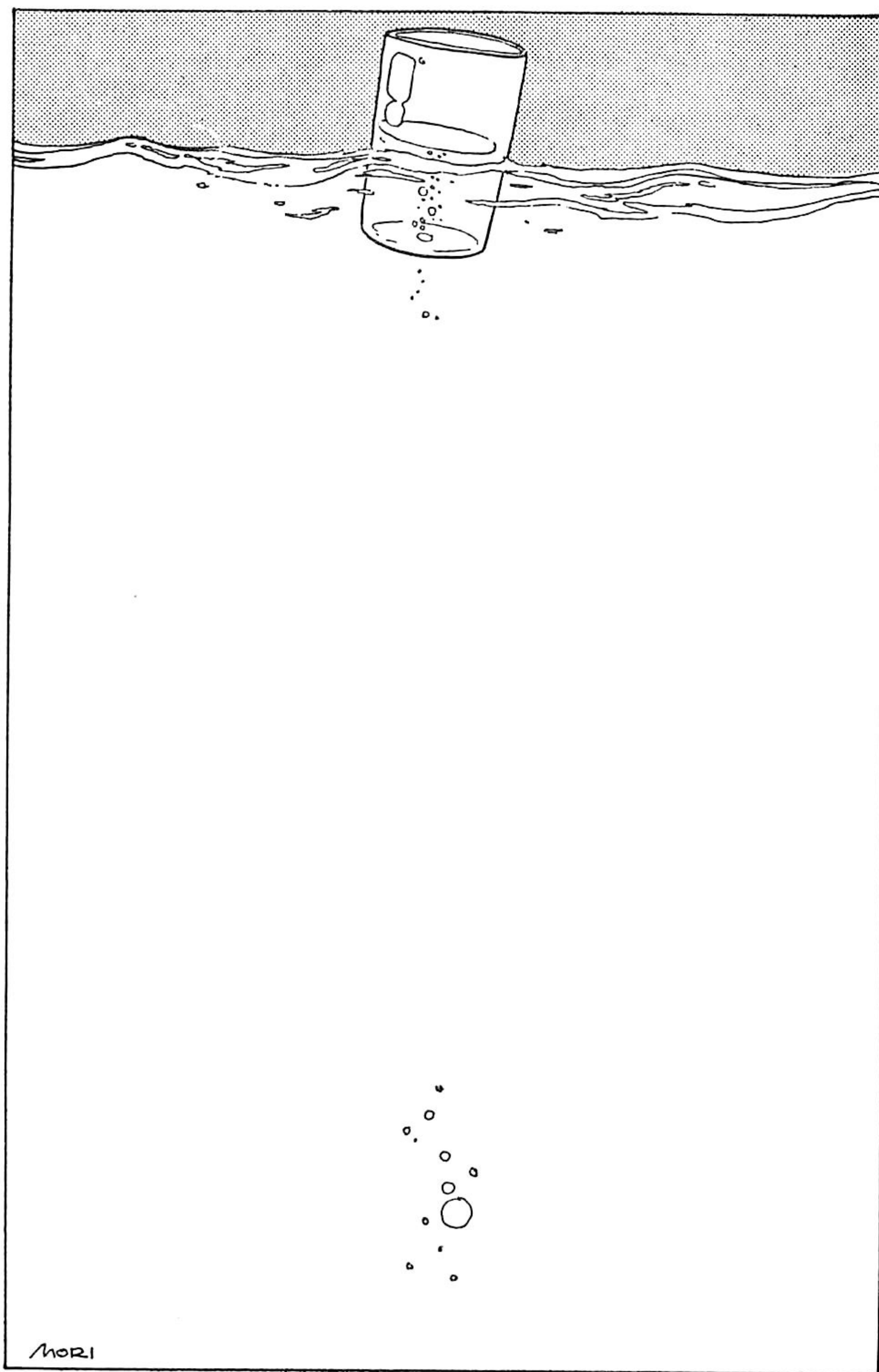
ところが、このようなからくりを使わなくても液体が浸入する場合がある。ただし、水ではない。液体ヘリウムという特殊な物質に、このような常識外の性質がそなわっているのである。

化学で習う九十二種類の元素のうち、水素についで二番目に軽いのがヘリウムである。物質は、どんなものでも温度をさげていけば、やがて液体になり、さらに固体になる。空気（正しくは窒素と酸素）も氷点下一九〇度くらいで液化する。水素は液体になりにくく、

氷点下二五三度でやっと液体水素ができるが、ヘリウムはもっとしぶとくて氷点下二六九度が気体から液体に変わる温度である。あらゆる物質中の液化温度の最低チャンピオンである。

温度の高い方は、ロウソクの炎がセ氏一四〇〇度、アルコール炎が一六〇〇度、夜店で使われているアセチレン炎が三八〇〇度、太陽の表面が六〇〇〇度、太陽内部が数千万度……というように、いくらでも熱いものが存在するが、冷たい方は氷点下二七三度でおしまいである。左右、前後、さらには好きと嫌い、嬉しいと悲しいなどという「対称性」にわれわれは慣れきっているから、寒暖も対称的なもの（つまり、ものは冷やせばいくらでも冷たくなる）と思いがちだが、自然現象はそうではない。冷たい方には限界がある。したがって、氷点下二七三度を零として、このような温度の表わし方を絶対温度（あるいはケルビン温度）という。わかりにくければ気圧の例で考えてみるといい。容器の中の空気を真空ポンプで抜いたとき、これをマイナスの圧力ということがあるが、正確にいうとこの場合のマイナスという言葉（あるいは考え方）はおかしい。全くの真空が圧力零であり、われわれの住む地球表面が一気圧（一〇一三ミリバール）なのである。温度の方もこれと同じ事情にある。人間の住む環境を基準にしてしまったため、マイナスなどという概念を導入せざるをえない破目

Ⅲ　超流動の世界

MORI

になったのである。圧力も温度も、物理的には零が最小であり、他方、大きい方は、特殊な天体などでは想像を絶するような高温、高圧が存在する。

液体ヘリウムの超流動

ヘリウムの液化温度は絶対四・三度だが、これをなお冷やしていくと、異常な現象をみせはじめる。それでも二・二度まではまともな液体だが（まともな場合を常流動という）、この温度を境として、急に異状をきたす。容器に二・二度以下の液体ヘリウムを入れ、その中にコップを入れておくと（コップの底は液面より低くする）、コップの外の液体は徐々にコップに入りこんでくる。コップに穴がないのに、液体は浸入するのである。

だからかりにこんな液体の中に舟を浮かべたら、氷山に衝突しなくても、舟は沈没してしまう。物理現象の中にはこのような常識はずれのことが存在する。宇宙人が来て舟ごと誘拐したなどという話は、大いに眉に唾をつけなければならないが、液体ヘリウムの浸入は十分に確認された実験事実である。が、幸いなことにわれわれの住む世界の温度は絶対三〇〇度前後であり、どんなに冷たい日でもあるいは寒冷地域でも、こんな不気味な液体の恐怖を心配

する必要はない。

逆にコップの中だけに絶対二・二度以下の液体ヘリウムを入れ、このコップを水平物体の上に置いたら……このときはコップ内の液体が徐々に外にあふれてくる。もちろんこの場合は、コップもそれを乗せている物体も二・二度以下にしておかなければならない。

これらの場合、液体ヘリウムは「高きより低きに移る」から、物理学の基本法則には反していない。反してはいないが、このヘリウムはどうやってコップを通り抜けてしまうのだろうか。

コップを通り抜けるわけではない。液体ヘリウムはコップの側面を這い上がり、上端のふちを経て、今度は反対側の側面を降りていくのである。こんな流れ方をする液体は、ヘリウムのほかにない。このため二・二度以下の液体ヘリウムの性質を超流動(ちょうりゅうどう)とよぶ。高い塀を苦もなく乗り越える忍者のようなものである。忍者は長年の訓練によるか、特殊の道具を用いるかで、とにかく超人的な活躍も決して理解できないわけではないが、超流動の液体ヘリウムはこれとはまったく異質のものである。よくSF映画で、液体人間とか液体状の生物(?)が人畜を襲う場面があるが、あれに近い。どろどろした物質が、ドアの下の隙間などから部屋に侵入してくるが、見ていて実に気もちが悪い。SFの液体生物も、密封したものの中に

は入ってこないが、この点は液体ヘリウムも同じである。どちらも固体の壁をつき抜けるわけにはいかない。つき抜けないが、乗り越えてくるところが恐ろしい。

SFの液体生物は、ひじょうに粘性が大きいようである。ねばねばしているほど視聴者に不気味な感じを与えるためであろう。ところが液体ヘリウムの方は粘性がまったくない。だから、通常の液体が(粘性のために)通れないような細い管(もちろん針の穴よりもずっと細い)の中も、どんどん通過してしまう。超流動の名も、こんなところに由来している。

量子物理学の世界

液体ヘリウムの超伝導性を、初めてくわしく調べたのはソ連のカピッツァ(一八九四年生まれ)である。彼はイギリスに渡り、キャベンディッシュ研究所やモンド研究所で新方式のヘリウム液化装置をつくり、一九三四年にソ連に帰ってモスクワの物理問題研究所長になった。ここで、液体ヘリウムの不思議な性質——超流動のほかに、その中を伝わる音の速さや熱の伝達の異常性を発表した。

問題は、なぜ低温のヘリウムがこのような常識はずれのふるまいをするか、である。物理

学は、実験事実と、それを証拠だてる理論との両方に支えられなければならない。液体ヘリウムの理論の方は、多くの物理学者により、さまざまな面から検討・計算され、戦後十年以上たって、おおよそのめどがついた。

超流動の理由づけは、古い物理学（古典物理学という）ではまったく不可能である。原子とか電子とかの状態を説明するには新しい量子物理学という方法が必要だが、液体ヘリウムにもこの方法を適用しなければならなかったのである。

もっとも基本的な疑問は、数ある物質の中でなぜヘリウムだけがおばけのようなふるまいをするか、である。これを説明するためには、物質を構成している分子に注目しなければならない。そうして、物質が古典物理学でなく（古典物理学的だったら、物質の状態は〝常識的〟になる）、量子論的であるためには、おおまかにいって、つぎの三つの条件が必要である。

①構成分子が軽いこと。②構成分子の形態が単純なこと。③物質の温度が低いこと。

水素分子（H_2）の重さはヘリウム分子（He）の半分だが、②の条件のためにヘリウムが有利（?）である。③も考慮すると、結局低温のヘリウムだけが、超流動をみせることになるわけである。

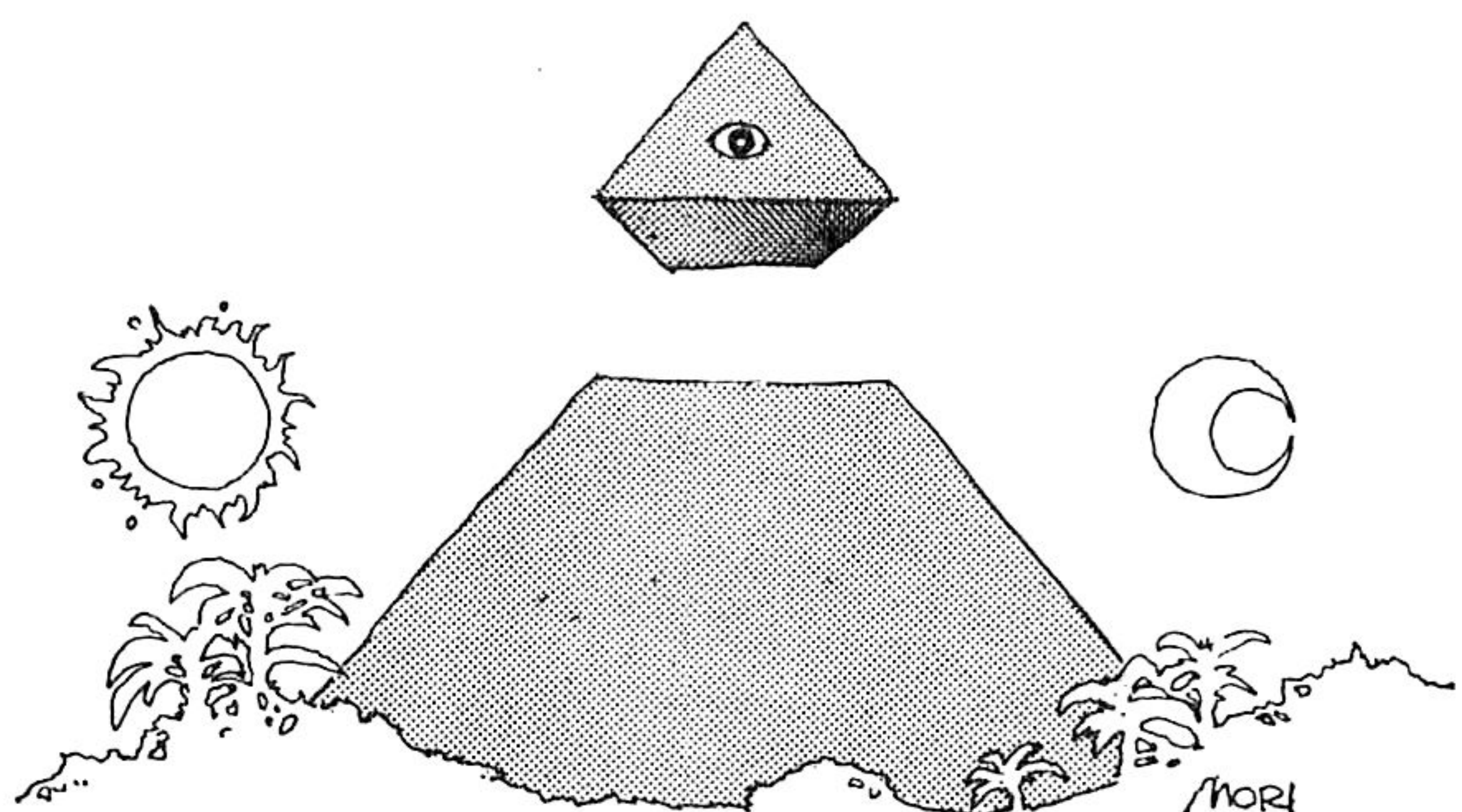
いまひとつ、別の角度から低温のヘリウム分子（ヘリウムの場合は、分子と原子は同じ）の集合体を考えてみよう。ヘリウムを除くすべての物質は、温度を下げると液体になり、もっと低温で固体になってしまう。固体とは原子が規則正しく並んだ状態をいう。温度を低下さすと、分子の動きは不活発になり、分子間引力のために、みんなおとなしくせいい揃いしてしまうのである。

ヘリウムでは、分子相互間の引力はひじょうに弱い。弱いといっても、分子の動きが止まってしまえば、やはり並ばざるをえない。つまり絶対零度では固体になるはずである。ところがここに、量子力学的な事象が入り込んでくる。小さな粒子は、位置を確定させると運動量が不確実になる（ハイゼンベルクの不確定性原理）。原子をきれいに配列させると（つまり位置をきめると）、動きが（運動量とは、質量と速度との積）でてきてしまうのである。ふつうの分子では、引力（配列力）が強いから、こんな動きは問題にはならない。ところがヘリウムにかぎって、動きが引力にかち、どんな低温でも分子は動いていってしまう。つまり固体にはならない。

液体ヘリウムの理論は、実際にはもっと複雑な考え方で計算されなければならないが、以上はそのあらましである。

私はなにも、バミューダ海域の謎と液体ヘリウムの現象とが結びつくと考えているわけではない。しかし不思議な事件を、いたずらに謎だ謎だと主張していたのでは、何の進歩もみられないだろう。超科学的だという言葉は、えてして科学の研究を放棄してしまう理由に使われがちである。

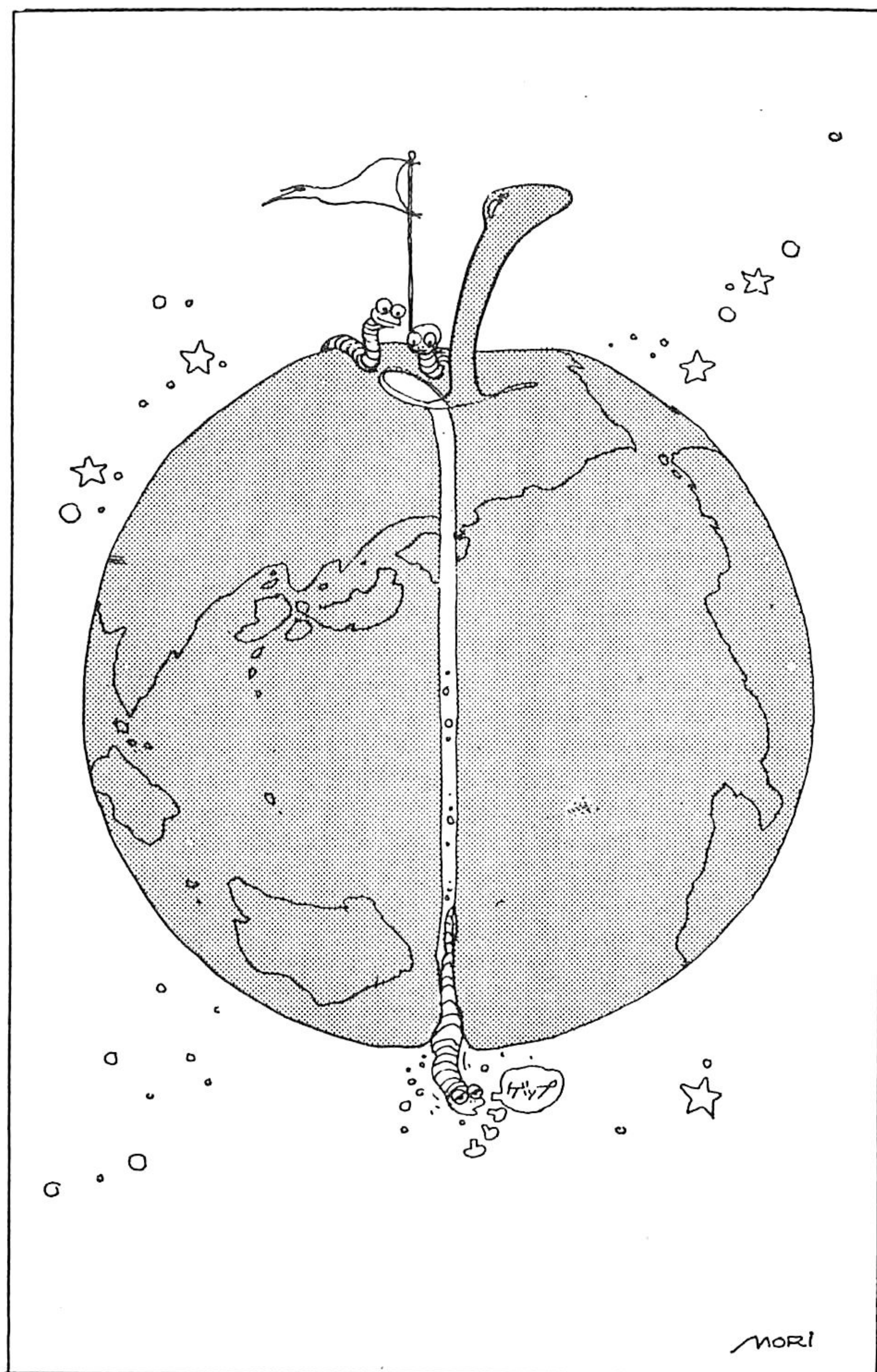
実験室で行われる精密な研究は、科学だけでなく、さまざまな思考や理念の形成に不可欠なものだと私は考えている。そうして物理的な事実の中には、液体ヘリウムのような興味ぶかい超常的な現象がみられるのである。

Ⅳ 超伝導の夢

地球内エレベーターと人工衛星

地球の表面から真下に穴を掘っていき、反対側までの長い長いトンネルを貫通させたら、簡単に世界旅行ができるだろう……とは、誰しも一度は考えてみる空想である。

東京から真下に進めば、南米のブエノスアイレス東方の大西洋上にでる。海上では困るというのなら、トンネルを適当にカーブさせて出口をニューヨークかパリにしてやれば好都合だろう。乗客をエレベーター式の箱に入れ、重力のおもむくままに落下させれば、いったんは地球の深部に達するがそのまま余力をかって上昇に転じ、ついにはトンネルの反対側に出る。このとき速度は零になっているはずであり、磁石を応用してエレベーターをその位置に止めれば、人々はたかだか数十分で世界のどこにでも行くことが可能である。

ただしエレベーターの中では地上にいる場合とくらべてずいぶん勝手が違う。カーブの際には遠心力が働くが、もし地球の真中をまっすぐに走るときには全く無重力状態になる。訓練を受けた宇宙飛行士ならともかく、一般乗客が無重力に耐えられるかどうかは疑問だが、地球内トンネル旅行が興味の対象となるのは、そのメカニズムがまったく簡単なことと、動

Ⅳ　超伝導の夢

力が不用だという二つの理由によることが大きい。
青函トンネルでさえ難工事を重ねている今日、地球をつき抜けるトンネルなどまずは夢物語だろう。地球は表面にだけ薄い地殻があり、その内部はマントル、さらに中心部は核からできているが、核の部分は高温・高圧の鉄などの物質からできており、おそらく五〇〇〇〜六〇〇〇度の熱さだと推定される。
技術的にはいささか無理だが、かりに直径を貫くトンネルがあったとしたら……所要時間などは簡単に計算できる。最初に静止しており、電流を切ると磁力が消えて（鉄の棒に針金をコイル状に巻いたものを電磁石という。電流の流れているときだけこの棒は磁石になっている）箱は落下を始める。速度はぐんぐん増して、地球の中心部では秒速八キロほどになる。二三マッハあまりであり、ここでは旅客ジェット機より二十数倍も速い。やがて速度をへらしながら反対側に着くが、出発から到着までは四二分ほどである。乗客は四二分だけ無重力状態をがまんすれば、地球の裏側にまで行ける。
地球の内部を走るなどということはいかにも子供じみた発想であるが、「力学的」にこれとまったく類似のことが現在行われているのである。地球の重力を利用して周期運動をする物体、つまり人工衛星がそれである。人工衛星をそれほど高くない場所（といっても、空気

のあるような低空では困るが）を回したとき、速さは秒速八キロほどであり、一周するのに八四分、つまり四二分で地球の反対側まで走る。

地球の密度は一立方センチあたり五・五グラムだが、これはあくまで平均値であり、実際には中心部ほど高密度になっている。しかし大ざっぱに、表面付近でも中心部でも密度が同じだと仮定してみると、地球内のトンネルに放り込まれた物体は、（表面に出てきたとき止めることなく、そのまま放置してやれば）この物体は単振動をすることになる。

さて、人工衛星と地球内エレベーターと一体どこが似ているかという話だが、これはちょうど「等速円運動」と「単振動」との関係に相当する。運動場に円形のコースを描き、生徒が同じ速さでコースに沿って走るのを地面すれすれの高さから眺めたとき、生徒の遠近は判断できない。生徒は右に、左に、走っているように見える。この場合の右左への動きが単振動である。つまり等速円運動と単振動とは親類関係にある。数学や物理の教科書には「単振動とは、等速運動をする点の、直径上への射影である」と書かれている。

上空の一地点から初速度なしに物体（重いものでも軽いものでもかまわない）を放せば、（地球にトンネルが掘られているとき）物体はトンネル内を単振動する、同じ場所から、水平方向に秒速八キロの初速度で走らすと（この場合も、重くても軽くても秒速八キロの速さ

さえ与えればいい）、物体は地球の周囲を回ることになる。どちらも周期（単振動なら一往復の、円運動なら一周の所要時間）は八四分ほどである。結局重力を利用して地球の反対側に行くのには、トンネルを掘るかわりに、ロケットの水平方向速度を毎秒八キロまで高めればいい。トンネル内エレベーターは下方に落下するわけであるが、ロケットの方も同じように落下していいるのである。ただロケットの場合には、地面と平行の方向に大きな速度をもっているために、落ちても落ちても前のめりになって、地面に衝突しないのである。このような意味で、ロケットもトンネル内エレベーターも「重力を利用した周期運動」という意味では、まったく同じように考えられる。

ロケットの方は人工衛星として、すでに実用化されているのはよく知られているとおりである。ただし、これで一般乗客を運搬するというのはいささか無理だろう。一度走ってしまえばその後の燃料は不用だが、離陸や着陸を繰り返すのではたまらない。たとえ航行中にたえず燃料を消費しても、ジェット機を利用した方がはるかに経済的である。

人工衛星とトンネル内エレベーターと比較したとき、いま一つロケットの方が有利な事実のあることを忘れてはならない。トンネル内にもし空気があれば、エレベーターは物凄い風圧を受けることになる。トンネル内に空気の乱流を起こし、とてもまともには走れまい。当

然内部は真空にしなければならない。真空にしたところでエレベーターは支え（列車にたとえれば線路）に沿って走るから、猛スピードのときは大きな摩擦が生じる。とにかくトンネル式では、多かれ少なかれ走行物体に対する抵抗は避けられない。

これに反して、大気の上を走り続ける人工衛星は「抵抗」の心配をしなくていい。一度走り始めたら、永久に回転が続き、エネルギーのロスはない。摩擦や抵抗がまったくなくて、ものが永久に動き続けるということは……実際にはきわめて特異な事柄なのである。このへんの事情をもう少し深く考えてみよう。

摩擦や抵抗がなかったら

地球上でものが動くとき、気体や液体のような流体の中では必ず抵抗が（比較的低速度のときは粘性抵抗とよぶこともある）、固体の表面相互の間には必ず摩擦力が作用する。床の上にものをすべらすとき、一度だけ力を加えてあとは自然のままに放置すれば……いずれは止まってしまう。静止までにどれだけ進むかは、床と物体との両方の性質に関係してくる。凹凸のまったくない氷の上に金属塊をすべらしたようなときには、数十メートルからときには

一〇〇メートル以上も走るが、いずれは止まることになる。このような地球上で常に経験する現実のために、ギリシア時代の有名な学者アリストテレスは、誤った自然観に陥った。「物体に力が作用しているときには動くが、力の作用がなくなると止まる」と。この考え方は千年以上も続き、十七世紀になってニュートンにより初めて是正されたのである。

「力が働かなければ、動いているものは等速直進運動を続ける」というのが正しい自然法則である。自動車や電車が走り続けるためには動力が必要である。飛行機も船舶も、あるいは地上を歩く人も、進み続けるためには何がしかの努力が要求される。これらの実例を漠然と考えるとアリストテレスの意見に賛成したくなるが、ニュートンの慧眼(けいがん)は自然のからくりを巧みに見破った。動力は抵抗力や摩擦力を相殺するために必要なのである。動力の方が大きければ自動車や電車は加速し、逆に抵抗が大きければ減速するが、一定速度で走っているときには前向きの力(動力)と後向きの力(抵抗や摩擦)が消し合い、結局力が働かないのと同じ状態になって、物体は等速直進運動することになる。

摩擦などなかったら、自動車も列車もほとんど燃料を必要としないから経済的でいい……と思うかもしれないが、そんなことになったらまさに一大事である。走っている自動車のブレーキが効かない。たとえ車輪の回転を止めたとしても、車はどこまでも地上をすべってい

く。大事故発生……ということになりそうだが、もともと摩擦がなかったら車は動かないのである。たとえ強い動力で車輪を回転させたとしても、車輪と地面との間に摩擦がないから、車輪はから回りしているにすぎない。

人間も歩くことができない。足の裏で地面を後方に押そうとすると、するりとすべってしまう。歩くどころか、静かに立っていることさえ容易ではなかろう。からだの重心が少しでも横に動けばそのままずとんところぶ。紐も結べない。固く結んだつもりでも、ずるずると解けてしまう。それどころか、衣服を着ていられるかどうかさえ疑問である。着たつもりのものが、するりと落っこちてしまう可能性もある。

このように「摩擦」という現象は、日常生活に絶対必要である。日常生活どころか、摩擦がなかったら地球上の風景は全く異なったものになってしまうだろう。土砂も岩石も簡単に移動し、視界はおそらくのっぺりした様相を示すに違いない。

要するに摩擦や抵抗は不可欠のものであるし、同時に地球上では確実に存在している。人工衛星や、さらには地球をめぐる月、あるいは太陽を回る地球のように真空の世界に行かなければ抵抗から逃れることはできない……と思われてきた。動力なしで永久に動く、などということは真空中を走る天体現象にしか見られないと考えられていた。ところが……抵抗の

まったく存在しない現象が実験室の中でつくられたのである。物理学史に残る画期的なできごとだといえる。ただし力学でなく、電磁気学の分野での話である。

超伝導ということ

ものをひやす技術は十九世紀の中頃から行われてきた。温度には、熱い方はキリがないが、冷たい方は零下二七三・一五度で終りになる。これを零とした温度を絶対温度とよぶ。物質は分子、さらには原子からできているが、温度とはこれら粒子の動きの激しさ（正確にいうと運動エネルギー）に比例する。一般に気体や液体では分子単位で、固体では原子単位でてんでに粒子は動いているが、これらの粒子が静止した状態が絶対零度である。止まっていることよりも遅い状態が考えられないように、絶対零度よりもつめたい温度は存在しない。

アムステルダムの市街地図を眺めていたら、市の南東部にカメルリン・オンネス通り、市の南西部郊外にカメルリン・オンネス小路というのをみつけ、おやと思ったことがある。もっともヨーロッパの都市では、どんな小道でも全部固有名詞がついているから、政治家、芸

術家その他あらゆる著名人を総動員しても道に名をつけるのはいささか頭の痛いことだろう……と想像されるが、こんなことから考えてみれば、オランダの物理学者カメルリン・オンネス（一八五三～一九二六）の名も道路の一部に使われているのは、あるいは当然かもしれない。彼は絶対温度で数度という極低温での物理的諸現象の研究に初めて手を下した開拓者である。

一九〇八年に絶対四・三度以下に温度を下げてヘリウムを液化したが、これより三年後の一九一一年に水銀を四・二度までひやしたところ、その電気抵抗が突然に零になってしまうことを発見した。もちろん、こんな低温では水銀は固体になっている。このような電気抵抗が消失してしまう現象を超伝導とよぶ。その後、超伝導を示す物質はつぎつぎに発見された。比較的よく知られた金属ではつぎのようなものがあり、括弧内の絶対温度よりつめたいとき、電気抵抗が完全に零になる。アルミニウム（一・二度）、亜鉛（〇・八五度）、スズ（三・七二度）、タングステン（〇・〇一度）、鉛（七・二度）などである。超伝導状態になる温度を転移温度というが、元素の中で最も転移温度の高いものは（普通の圧力では）ニオブという金属で九・二三度で抵抗を失う。しかし二種類以上の金属のまざったものではもっと高温で超伝導を示し、たとえばニオブとスズの混合物では転移温度は一八度にもなる。

われわれの住んでいる世界（絶対温度で三〇〇度前後）では、金、銀、銅などは非常によく電気を通す。いいかえると電気抵抗が小さい。ところがこれらの物質（化学の言葉で、金、銀、銅などを貴金属とよぶ）は、現在までの研究ではどんなに冷やしても――たとえば絶対温度で、一度の千分の一程度まで冷却しても――超伝導にはなってくれない。かえって常温でいささか抵抗の大きい卑金属（貴金属でないもの。鉛や亜鉛がその代表）の方が超伝導になりやすい。さらに金とビスマスは単独の元素ではどちらも超伝導にならないが、両者の化合物は一・七度で超伝導になる。このように極低温での電気抵抗をさまざまな物質について調べてみると、超伝導はなぜ起こるかという基本的な問題と、どうしてその物質が超伝導になるかという各論的な解釈の両方が要求されることになる。

なぜ超伝導が起こるか……の理論的研究は戦後になって精力的に行われ、金属中の電子の状態に複雑な量子力学の考え方をあてはめた論文が、一九五七年にアメリカの三人の物理学者、バーディーン、クーパー、シュリーファーにより発表され、さらに翌五八年にソ連のボゴリューボフによりかなりの程度まで解明されたが、話をもとにもどして「電気抵抗」について考えてみよう。

電気抵抗はどうしておこるか

長野県の諏訪湖の水面は海抜七五九メートルである。天竜川は諏訪湖から太平洋まで続いている。天竜川の水はこの落差のために上流から下流にむかって「押し」が働き二五〇キロを移動する。これを電気現象にたとえれば、落差が電圧、水流が電流、川の流れを常に一定にしている川底や川岸の複雑な地形などが電気抵抗に相当する。川の中途には岩あり中州ありで、多かれ少なかれ流れを妨害しているはずである。落差による「押し」と妨害とがつり合って、(洪水でもないかぎり) 川は一定状態で休みなく流れていく。

金属を構成している原子は電子を放して、みずからはイオンになっている。放された電子は金属内を動き回っているが、右にも左にも同じように走るために全体としての電子の動きは相殺されてしまう。この金属を針金状にして両端を電池のプラスとマイナスに接触させるか、あるいは電力会社から配線されている二本の線につなげるかすれば (後者の場合はソケットに差し込むという簡単な操作で目的が達成される)、金属内電子に対して「押し」の力が生じるのである。押しの力が加われば電子は加速して、電流はいくらでも大きくなるはずで

あるが、そこはよくしたもの(?)で、電子の動きは妨害されて電流は一定値を保つことになる。ところで妨害、つまり電気抵抗の原因を原子論的に調べてみると、二つに分けて考えることができる。

①固体を構成する原子の中に不純物原子があったり、原子の並び方が規則正しくなかったりするため。

②たとえ原子(正しくはイオン)が規則的に配列していても、それらが熱振動しているため。

①の方は固体を純粋にすることにより、除去することが可能である。問題は②の方だが……極低温にすればイオンの振動も消えるから超伝導は当然ではないか……と早合点してはいけない。ここは低温現象の、最も重要なポイントである。

超伝導のひらく世界

「長さ」のような一般の物理量を問題にするときには、一メートル、一〇センチ、一センチ……といくらでも短い距離を考えることは可能であり、長さ零とは二点が重なった状態だと

規定すればいい。ところが「温度」のスケールは、長さなどとは全く異質なのである。技術的にも理論的にも、一度、〇・一度、〇・〇一度……と低温側に研究の歩を進めているが、温度を一桁下げるのは難事業である。絶対零度とは——口で言うことはやさしいが——事実は無限の彼方にある絵空ごとである。現にドイツの科学者ネルンスト（一八六四〜一九四一）は「絶対零度には到達できない」と唱え、これを熱力学の第三法則とよんだ。このことから考えると、絶対二度とか絶対四度などは、どうしてどうして、なかなかの高温である。このような高温（?）で超伝導が起こるということになると、電気抵抗のメカニズムとしては、さきに述べた①とも②とも違ったものを考えなければならない。

　バーディーンらにせよボゴリューボフにせよ、イオン振動による妨害は存在する、としているのである。いや、妨害ではなく——ある種の金属や合金では——イオンの振動が電子に働きかけて、二つの電子をコンビにするなかだちとなり、その結果電子はエネルギーのロスもなく一方的に動いてしまう……と主張しているのである。邪魔もの変じて案内役になる、というのが超伝導の真相である。「低温になりイオン振動が減ったから電気の流通がよくなった」というのなら、微小振動のためにわずかの抵抗は存在するはずである。遅かれ早かれ電流は減衰しなければならない。ところがアメリカの研究所で、超伝導状態にした針金をリ

ング状にして電流を通したところ、二年間も流れ続けたのである。二年間でおしまいになったのは……その都市に停電が起こり、低温装置がストップしたからである。停電さえなかったら、おそらく永久に流れていただろう。

最初に地球内エレベーターと人工衛星をもちだしたのは、力学的には類似していても、後者には「摩擦がない」ことをいいたかったためである。そうして地球上にも摩擦のない現象が存在するというわけで超伝導を述べてきた。しかしこの論法は、本当は正しくない。超伝導には摩擦が――摩擦という言葉は正確ではない。むしろ「かまい」とでもよぶのがふさわしい――、かまいが存在し、そのかまいのためにかえって（人工衛星と同じように）永久に動いているのである。

超伝導の用途は広い。エネルギーのロス（物理学でいうジュール熱）なく送電可能であり、イギリスなどでは地下ケーブルにこれを考えているという。二種類の超伝導物質を利用して簡単なスイッチ素子がつくられ、コンピューターなどに用いられる。これをクライオトロンという。また普通の電磁石で数万ガウスの磁界をつくるためには各家庭で使う電力の数千倍を必要とするが、超伝導物質をコイル状に巻いたものは、ほんのわずかの電力で一〇万

ガウス程度の磁界をつくる。

超伝導物質のいま一つの特徴は強い反磁性を示すということである。鉄のように磁石にくっつくものを強磁性とよぶ。これに対して銅などは磁石を近づけると逃げ腰になるのである。これを反磁性というが、斥力があまり弱いため、おもちゃの磁石で銅貨の逃げるところまで、とても認めることができない。ところが超伝導物質でおわんをつくり、その中に棒磁石を入れると宙に浮く。超伝導は目に見えないが、磁石の空中浮遊はまさに目の前に見られる奇怪現象のような気がする。かりに地球内トンネルの周囲の壁が超伝導物質で、エレベーターを磁石にすれば、周囲の壁に触れることなくトンネル中を走ることができる。実際にレールを超伝導物質にして列車を浮かせれば、新幹線の数倍のスピードが得られ、この構想のもとに列車技術が研究されている。

ただ……超伝導物質を常に極低温に保たなければならないという点が泣き所である。もし転移温度が常温程度の超伝導合金が発明されたら、これは産業界の一大革命になるだろう。

V

空中浮遊について

MORI

ＵＦＯ

第二次大戦後、つまり二十世紀後半で、もっとも大きな話題となった超常現象は（というよりも超常物体とよんだ方が適切だろうが）空飛ぶ円盤ではなかろうか。あるいは戦前から、これに類したものが目撃されていたのかもしれないが、正式（？）に認知されたのは、一九四七年六月二十四日にアメリカのワシントン州で自家用飛行機から認められた怪物体が嚆矢（こうし）だとされている。円盤状に光る飛行物体だというので、当初は「フライング・ソーサー」とよばれた。その後、この種の目撃報告はあとを絶たず、世界全域に広がり、件数も何千、何万、巷（ちまた）のうわさまで含めれば何十万とふえて現在に至っている。よび名も、「空飛ぶ円盤」ではあまり幼稚だというのであろうか、やがて、ＵＦＯ、つまり「未確認飛行物体」という名で統一されるようになった。南米をはじめ、北米、ヨーロッパ、オーストラリア、ときには日本にも現れ、これらについての話は多くの書物に紹介されている。最近東京の中心で、皇居上空をＵＦＯらしき物体が走っていった……という目撃談が新聞に掲載されたが、後に、これはひもを付けた風船だったことが明らかにされた。

V　空中浮遊について

外国の書物では、UFOが地上に降りたこと、中から出てきた宇宙人、宇宙人との会話……とだんだんエスカレートしていき、ついにはUFO搭乗記、金星への旅行奇談、あげくの果ては女性宇宙人を身籠(みごも)らせた、などという体験談まで発表された。

ここまでくるとUFOの信憑(しんぴょう)性を云々するよりも滑稽(こっけい)感の方が先にたつが、こんな極端な話ではなく、〝空を飛んでいる不可解な物体〟ということになると、信じる人は多いし、興味をもつ人はさらに多数である。しかし、興味の対象となり得るためには、それなりの条件が必要である。流星、観測用気球、雲間からの太陽光線やその反射光のような見誤りでは話にならないのは当然だが（実際には、このような誤認がもっとも多い）これが某国で打ち上げられたスパイ衛星のようなものであっても、UFOとしての価値はない（国際問題情報のさぐり合いという興味なら話は別だが……）。UFOであるためには、是が非でも地球以外の天体から飛んできたものでなければならない。さらに、これに宇宙人が搭乗していて、彼らの手によって操縦されていることが望ましい。

このようなわけで、以上の条件を満たしたUFOが本当に存在するか、〝存在する〟というよりも、地球で目撃されたそれが本当に宇宙人を乗せた別世界の飛行物体かどうかということになると、結局は、これを信じるかどうかの個人の問題になるのではなかろうか。

銀河系だけでも何千億個の輝く星があり、それらの中には太陽系のように惑星をもっているものも多い。これらの惑星の中には、表面に気体や液体があるものも十分に考えられる。地球表面とくらべて、それほど違わない温度や大気圧のものもあろうし、人間と同じような（あるいは人間よりもはるかに知的能力の進歩した）生物の存在も十分に予測できる。

しかし、そのことと、円盤という大がかりな物体を宇宙旅行させるということとを直ちに結びつけるのは、私にはかなり無理のような気がするのである。宇宙はあまりに広大である。かりに光速度で走るとしても、もっとも近い恒星であるケンタウルス座アルファ星で四・三年、銀河系の中心までは三万年、アンドロメダ星雲で二〇〇万年かかる。円盤の内部では相対論の影響で恒星上の時間経過をそのまま当てはめることはできないが、それにしても、現実的にそんなに速く円盤を飛ばすことができるかどうかは大いに疑問である。さらに一個の生命体の寿命は、少なくとも地球上では動物でせいぜい百年、植物でも数千年である。

もちろんこれらの事柄は、あくまでわれわれの常識内の判断であり、広い宇宙には桁はずれの現象が――それがどういうものであるかは予想もつかないが――存在するかもしれない。そんなことからＵＦＯが信じられているのであろうが、それが宇宙空間をどれほどのスピードで走ってくるのか、推進力のエネルギーは何であるかはまったく説明されていない。

私は円盤の写真も映画も、何回も見せてもらった。「そら、あのとおりUFOはあるではないか」と言われると、実のところ返答に窮するのである。私には……円盤の存在を信じるかどうかよりも、物体が空中に飛行（または停止）することが物理的に可能かどうかの方により大きな興味がもたれるのである。

空中浮遊の条件

UFOの実在については、結局は「信じようと、信じまいと」になってしまうから、話を絞って、物体が空中に浮遊するための条件を考えてみよう。

①物体の重さが、同体積の空間の重さと同じくらいのとき。水素かヘリウムをつめた風船、気球、飛行船などがこれに当たる。

②翼に作用する空気の揚力および翼の上面と下面を流れる空気の流速の差を利用するもの。

飛行機がこの代表である。しかしエンジンがなくても最初にある程度の水平速度を与えておけば、かなりの間、空中を飛行できる。グライダーや紙ヒコーキがこれである。また風の

ある日に揚げる凧(たこ)や、モーターボートなどで引っぱる人間凧もこの部類に入る。

③機械的に空気を下に押して、みずからが浮遊するもの。

大きなものではヘリコプター、小さいものには竹トンボがある。

なお①〜③は空気の存在が絶対に必要である。そのため真空の宇宙間では、このような原理で飛行することはできない。

④噴射の反作用を利用して浮くもの。

ロケットなどは上昇していくことを目的とするが、噴射の程度を適当に押さえれば、上昇もせず、落下もせず、ということが可能になる。エアカー、特に最近実用されているホーバークラフトは③と④の原理を利用したものだと考えていい。波浪の小さい海面上に（海面から離れて）浮き上がり、まったく海水の抵抗を受けることなく、普通には時速数十キロで走る。わが国では瀬戸内海の宇野・高松間、三河湾の鳥羽・蒲郡間、別府湾の大分空港・別府・大分間などで就航されている。

⑤人工衛星の原理で上空を走る。

ひとたび水平方向に秒速七・九キロ以上で走ると、もはやこの物体は地上には落下しない。地球の周囲を永久にまわるか、（もし秒速一一・二キロ以上なら）はるか彼方にとんで

行ってしまう。

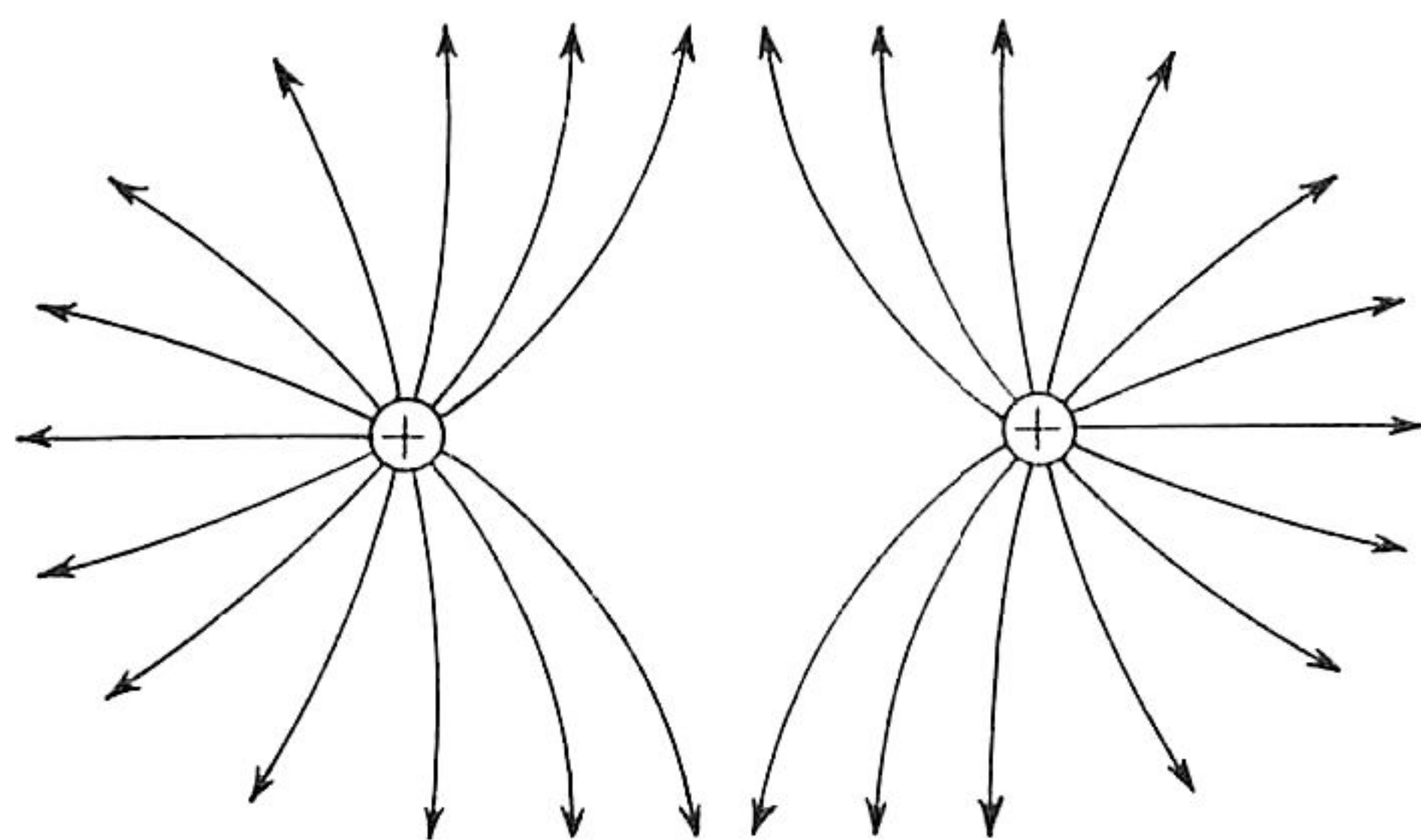
遠隔力と重力場

以上は今日までの人間の技術で開発されたものである。ところでUFOは——私は実物を見たわけではないから何ともいえないが——、かりに存在するとしても、どうも①〜⑤の原理では説明できそうにない。恒星間の真空空間を走るためには④か⑤でなければならないが、④であるためにはかなりの噴射圧力が地上にかかってくるはずである。しかし、目撃談なるものから察すると、噴射などというメカニズムはないらしい。といって⑤なら等速で(しかも非常なスピードで)走り去らなければならない。ところがUFOは、走ったり停止したりするという……。

そこでつぎのような超科学的(?)なものがとりざたされている。

⑥重力遮蔽。

⑦反重力。

いったいこれらはどんなものであろうか。⑥と⑦とでは共通的な要素があるから、さしあ

たりこれらの基本になる「遠隔力」について考えていくことにしよう。われわれが力を感じるのは、腕を引っぱられたり、棒で身体の一部を押されたりする場合である。つまり他人の手とか棒などのような「なかだち」を通して力が伝達される。しかし、このほかにも電気力や磁気力、さらには万有引力のように「中間物体」なしで力が作用することも経験的に知っている。鉄片が磁石に吸い寄せられるとき、両者の間は真空でもかまわない。また月と地球、あるいは地球と太陽の間には物質は存在しないが、それでも万有引力は働いている。物体をなかだちにして伝わる力を近達力（きんたつりょく）とよぶのに対して、真空空間を通して作用し合う力を遠隔力という。

1　異種の電気があるときの電気力線

2　同種の電気があるときの電気力線

近達力の方は理解しやすい

が、問題は遠隔力をどう考えるかである。物理学では——というよりも自然科学一般の思考形式として——電気を帯びた物体の近くの空間を電界、磁石の近くの空間を磁界とよぶことにしている。そこに、改めて別の電気をもってくるとそれに力が働くような空間が電界であり、同様に磁気に力が作用するような空間が磁界である。電界ではプラスの電気が引っぱられる方向をつぎつぎに結んでいって描かれる曲線（ときには直線）を電気力線、磁界ではN極が引っぱられる方向を結んで得られる曲線を磁力線という。マイナスの電気および磁気のS極は反対の向きに引っぱられることになる。

このように電界や磁界の存在は、それぞれ電気力線と磁力線とで描き表す。この曲線の描かれている空間は——たとえそこが真空であっても——電気や磁気が引っぱられるという〝特別な〟空間である。図1は異種の電気（または磁気）があるとき、そこにできる電気力線（または磁力線）のありさまを示し、図2は同種のものがある距離をへだてて置かれているときの、電（磁）界の様子を描いたものである。線はプラスの電気（またはN極）から出て、マイナスの電気（またはS極）で終わっている。

〝質量〟に力の働くような空間を重力場という。ただし質量は電気や磁気と違って、正負の区別はない。そうして、二つの質量の間には常に引力が存在し、斥力（せきりょく）というものはない。地

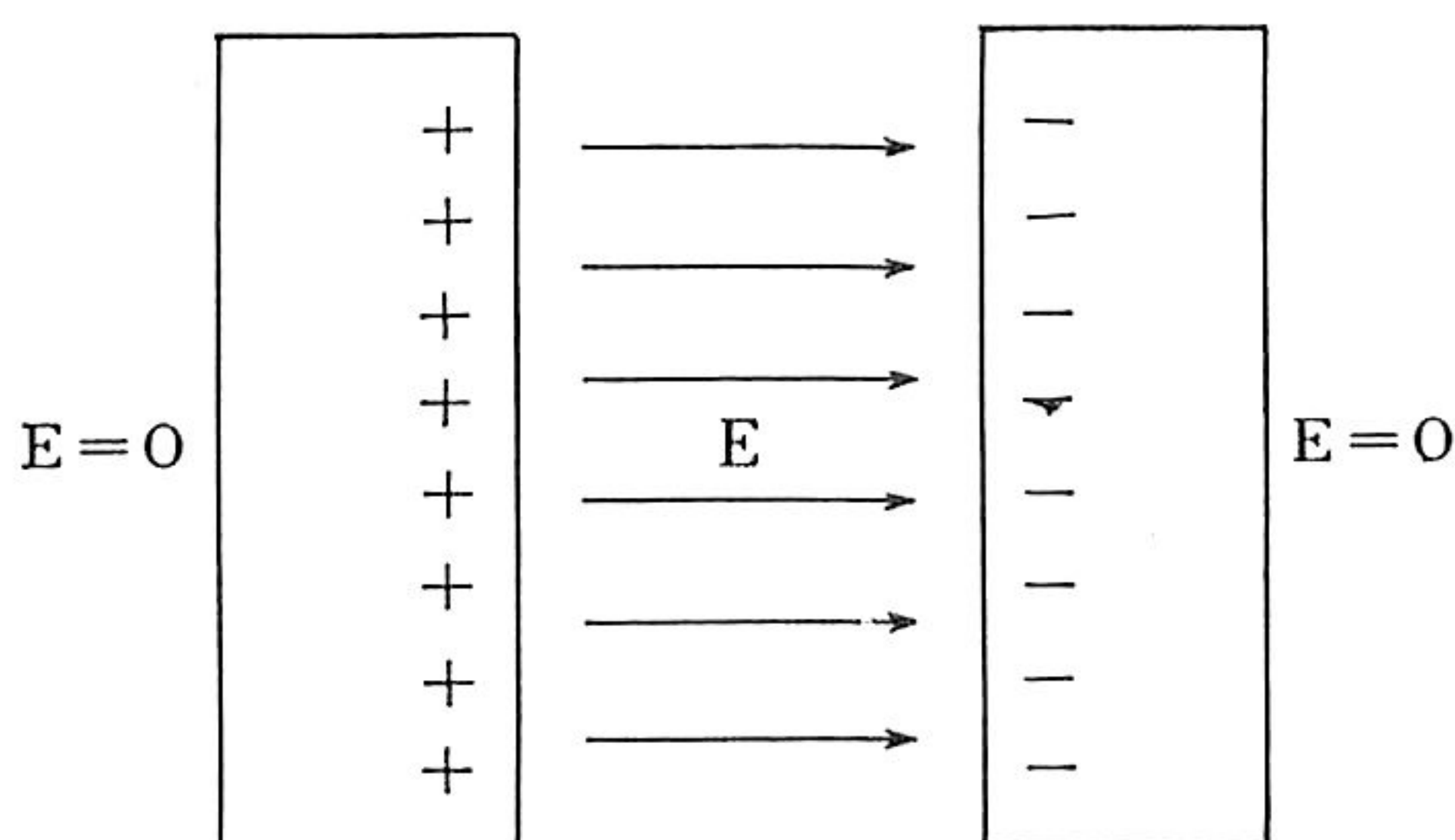
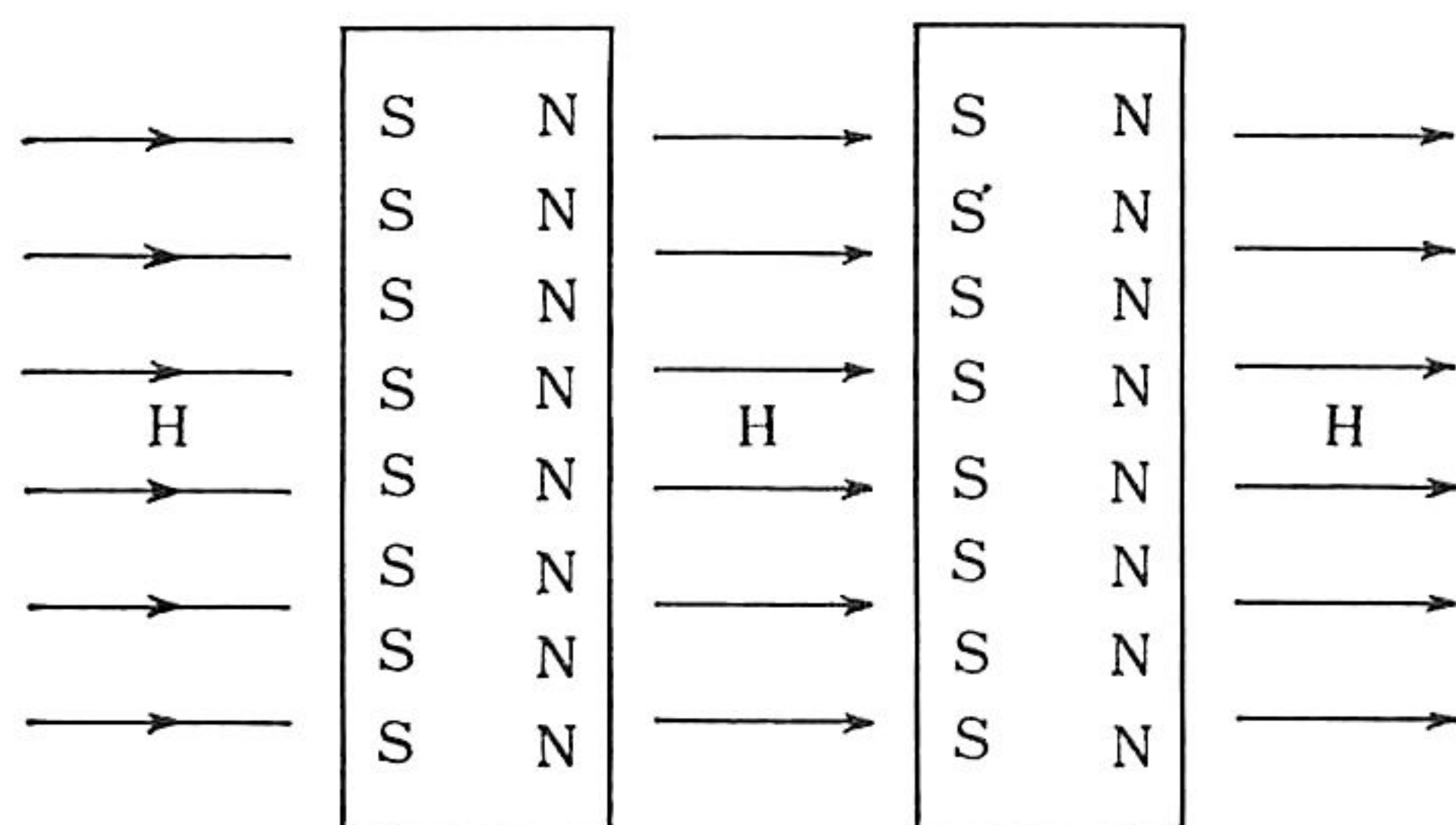
球のように宇宙間にポッカリと浮かぶ天体の重力場を描けば、放射状の直線になり、矢印はすべて地球の方を向くことになる。
電界の中にある電気（電気とよぶと、電灯などを想像してしまうから、このような場合には電荷とよぶのがふさわしい）や、磁界の中の磁気や、重力場の中の物体には必ず力が作用するのである。地球の周囲には磁界があり、また重力場にもなっている。ただし磁界は弱く、とても磁石を移動させるほどの力はない。せいぜい中央部を軽く支えた針状の磁石を、南北の方向に向かせる程度の強度である。これに対して地球の付近が重力場になっていることは、われわれは生まれながら経験している。それがあまりにも普遍的な現象であるために、ニュートンに指摘されるまでは意識しなかった……ことは科学史が語っている。つまり空中に存在する物体は重力場のために必ず落下するのであり、落下をふせぐためには①～⑤のような手段に訴えなければならない。ところが①～⑤がだめだということになると、物体の浮遊するその空間の重力場を消し去るほかはない。そんなことが可能だろうか。

磁界は消せない

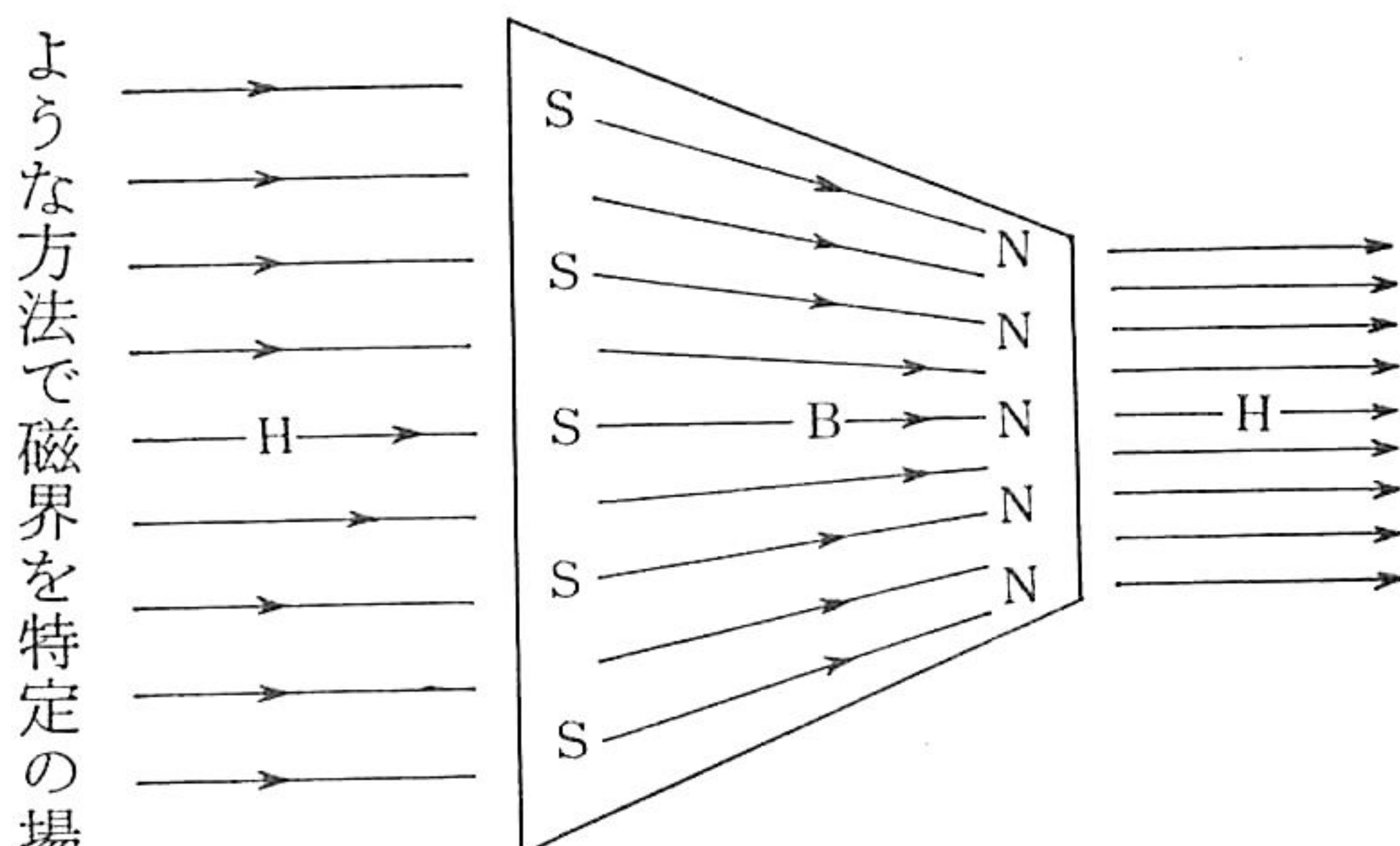
電界と磁界の場合について考えてみよう。板状の物体を用いて、電界や磁界を消してしまうことができるだろうか。いいかえると、板の右側は電(磁)界であるが、左側は電気力線や磁力線のない空間にするような板をつくることが可能だろうか。

一足とびに結論をいうと、電界の場合には可能だが(図3参照、Eは電界を表す)、磁界のときは原則的に不可能である(図4参照、Hは磁界)。電界と磁界は一般的には同じような性質をもっているが、それの遮蔽(しゃへい)(さえぎること)についてはまったく別である。ここに静電気と磁気との本質的な違いがある。

図3はよく知られたコンデンサー(蓄電器)である。両板がそれぞれ正と負の等量の電気だけをもっているために、両板間には電界が存在するが、板の外側には電界はない。逆に考えれば、コンデンサーの両板が電界を遮蔽していることになる。ところが同じような装置を磁性体でつくったら、図4のように磁界は板の外側にも漏れてしまう。どのような材料を使っても、磁界Hを消すことはできない。なぜ両者に違いが生じるのか。

電荷の場合にはプラスだけ、あるいはマイナスだけが〝単独で〟存在できる。だからコンデンサーがつくられ、電界遮蔽が可能になる。ところが磁気では(図4からわかるように)同じ板で、N極の反対側には必ず同量のS極が現れるのである。磁力線は消えることなく、

3　金属板などは電界を遮蔽する

4　いかなる物質も磁界を遮蔽することはできない

板の他の側から〃その続き〃が走り出すことになる。それではなぜ電荷だけが単独で存在できるのか、その原因は、最終的には物質を構成する原子、さらには電子、陽子、中性子などの素粒子の性質に帰せられることになる。電子はマイナスの、陽子はプラスの電荷だけを帯びている。物質の中で、電子が過剰になったり不足したりすると、その物質は全体的にマイナスにもプラスにもなる。

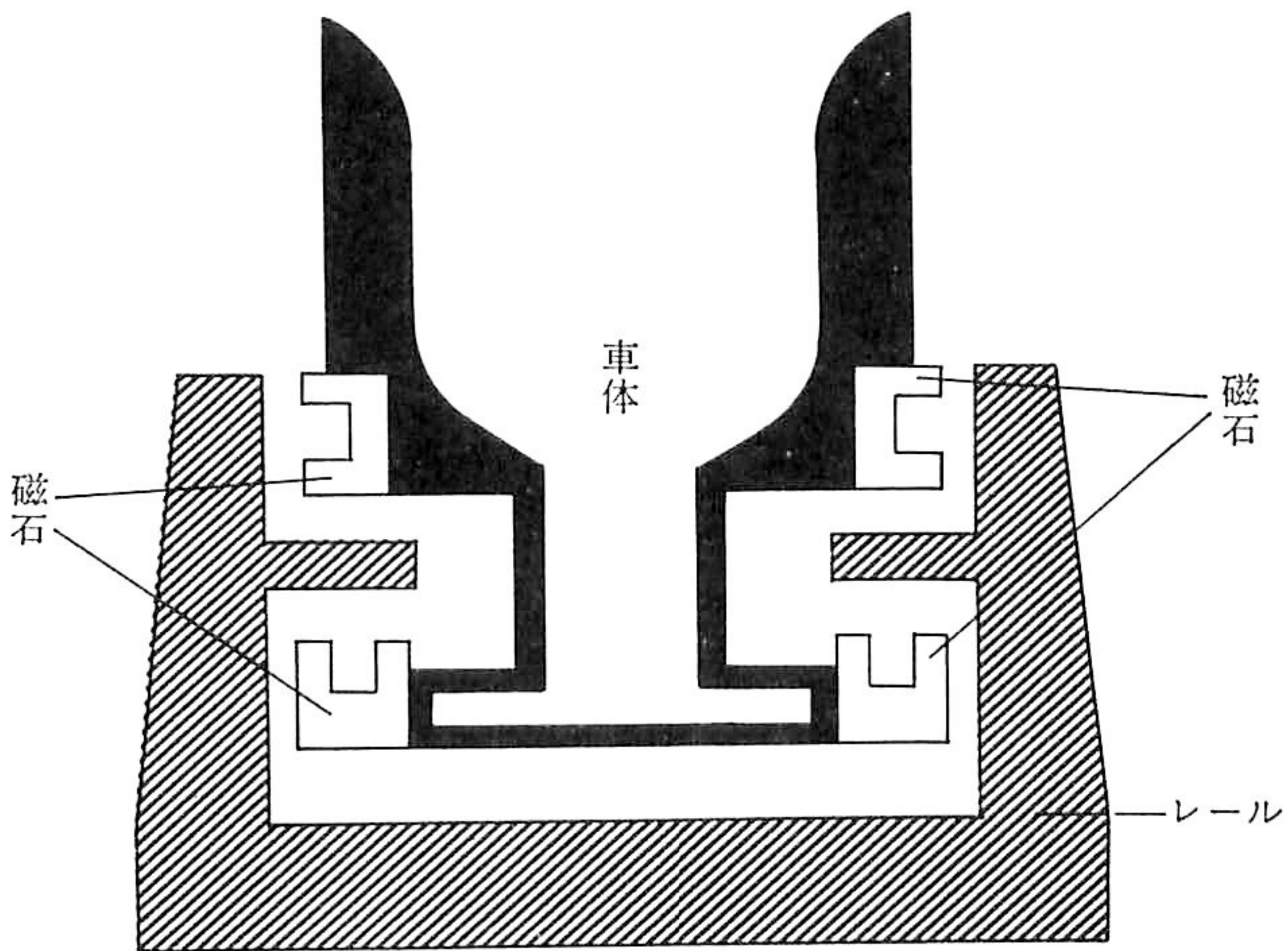
ところが……素粒子の一つ一つは小さな磁石だが、必ず等量のNとSとがある。このように素粒子が棒磁石としての性質をもつことをスピンとよぶが、スピンは素粒子が生まれながらにして（しかも永久に）持っている性質だと考えなければならない。なお昭和五十年

5　磁界の分布は変化しても絶対量は変わらない

の八月に、アメリカでN極だけ（あるいはS極だけ）を持つ粒子が発見されたと報ぜられた。これを単極磁気粒子（モノポール）とよぶが、とにかく物理学上の大発見である。従来の電磁気学は基本的に書き改められなければならない。……が、数日後に、これは実験上の見誤りであることが確認された。モノポールは……幻にすぎなかった。

磁界を消すことはできないが、その〝かたち〟を変えることは図5のような方式で可能である。太い磁束を細くするかわりに、密度（磁界の強さ）は大きくなっている。ふつうに磁気遮蔽とよばれる装置は、このような方法で磁界を特定の場所にもっていってしまうものをいうのである。

UFOに話をもどして、重力遮蔽は可能だろうか。遮蔽が可能なためには、プラスとマイナスの量があり、しかも両者が単独に存在することが必要である。質量は一種類しかないから、この条件には合致しない。つまり、UFOと地球との間にどのような物質を挿入しても、重力を消すことはできない。むしろ挿入によって（非常にわずかであるが）重力は増してしまう。

それはあくまでもUFOがふつうの質量からできていると考えているからではないか、UFOだけが別種の質量でつくられ、その質量は地球との間に反発力を生じるとしたらどうか……といわれるかもしれない。SF小説などにでてくる反重力とは、おそらくこのような発想のものであろう。確かに電子に対して陽電子、陽子に対して反陽子というように、素粒子には反粒子が存在する。しかし反粒子は電荷の符号は違っても、質量はその性質も量も同じのはずである。また数十億光年の遠くまで観測する宇宙物理学においても、〃別種の質量〃は発見されていない。

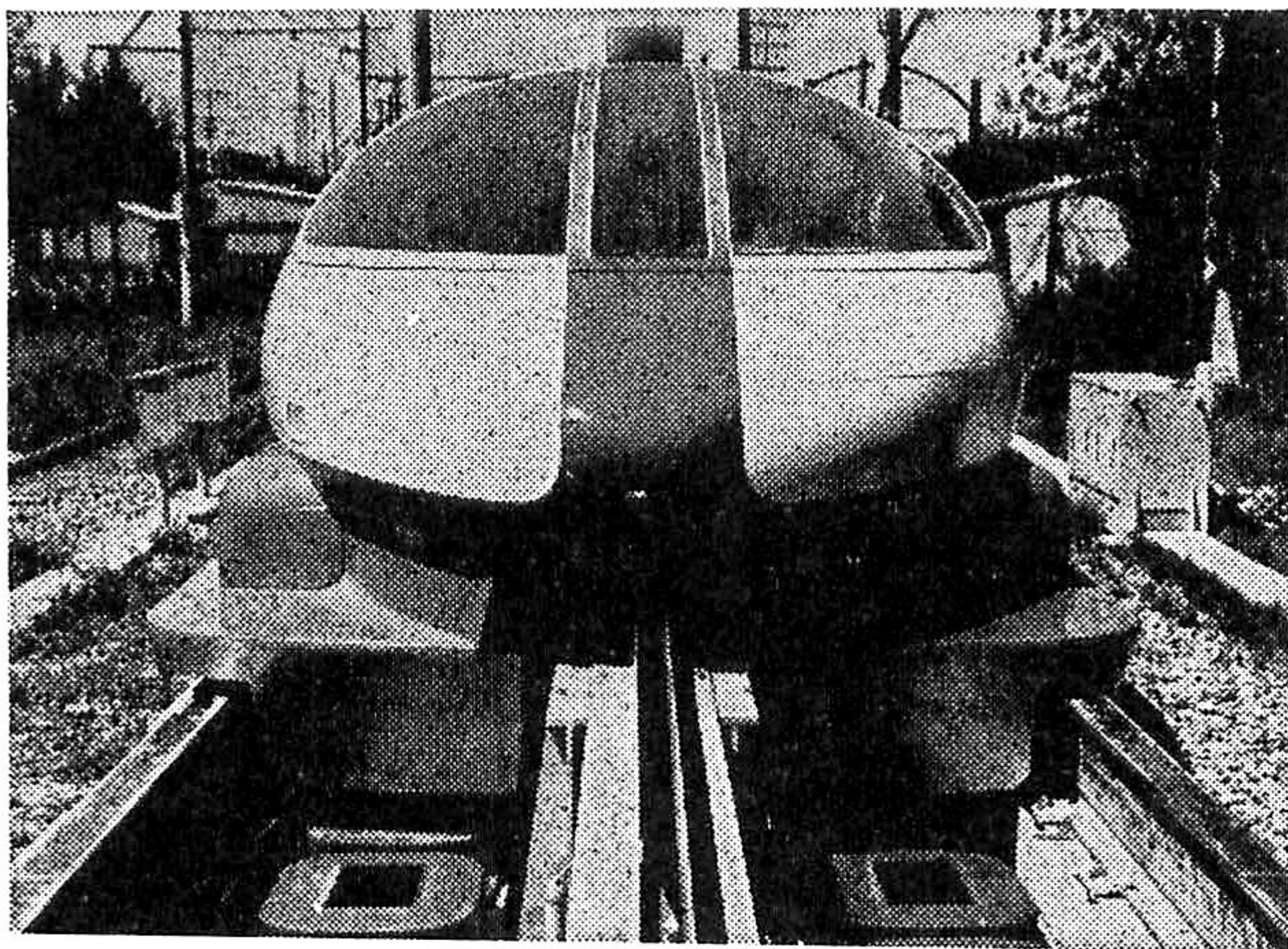
重力遮蔽とか反重力とかの発想は、理論的にはきわめて魅力に富むものであるが、これらが何らかのかたちで実験にとらえられたときに初めて物理学の俎上（そじょう）にのるのである。理由⑥と⑦は、現段階では……残念ながら空想にすぎない。

6　磁石を用いて車体をレールの上に浮かせる装置

重力がだめなら、いっそのこと電界か磁界を利用して空中に浮上することはできないか。これは可能である。

⑧超伝導物質を利用する。

特定の金属を零下二七〇度に冷やすと、電気抵抗はまったくなくなり、しかも強い反磁体になる。磁石のN極を近付ければその金属は同種のNにS極がくれば同種のSに磁化する。磁気的反発力により超伝導物質上の磁石は落下しない。

レールの上に列車を浮かすことも可能だが、この方式を用いるためにはレールを常に極低温に保つ必要がある。それでは普通の温度で磁石の利用ができないのか。

⑨磁石の引力を利用して物体を浮遊させ

7　国鉄が実験中の磁気浮上車

る。

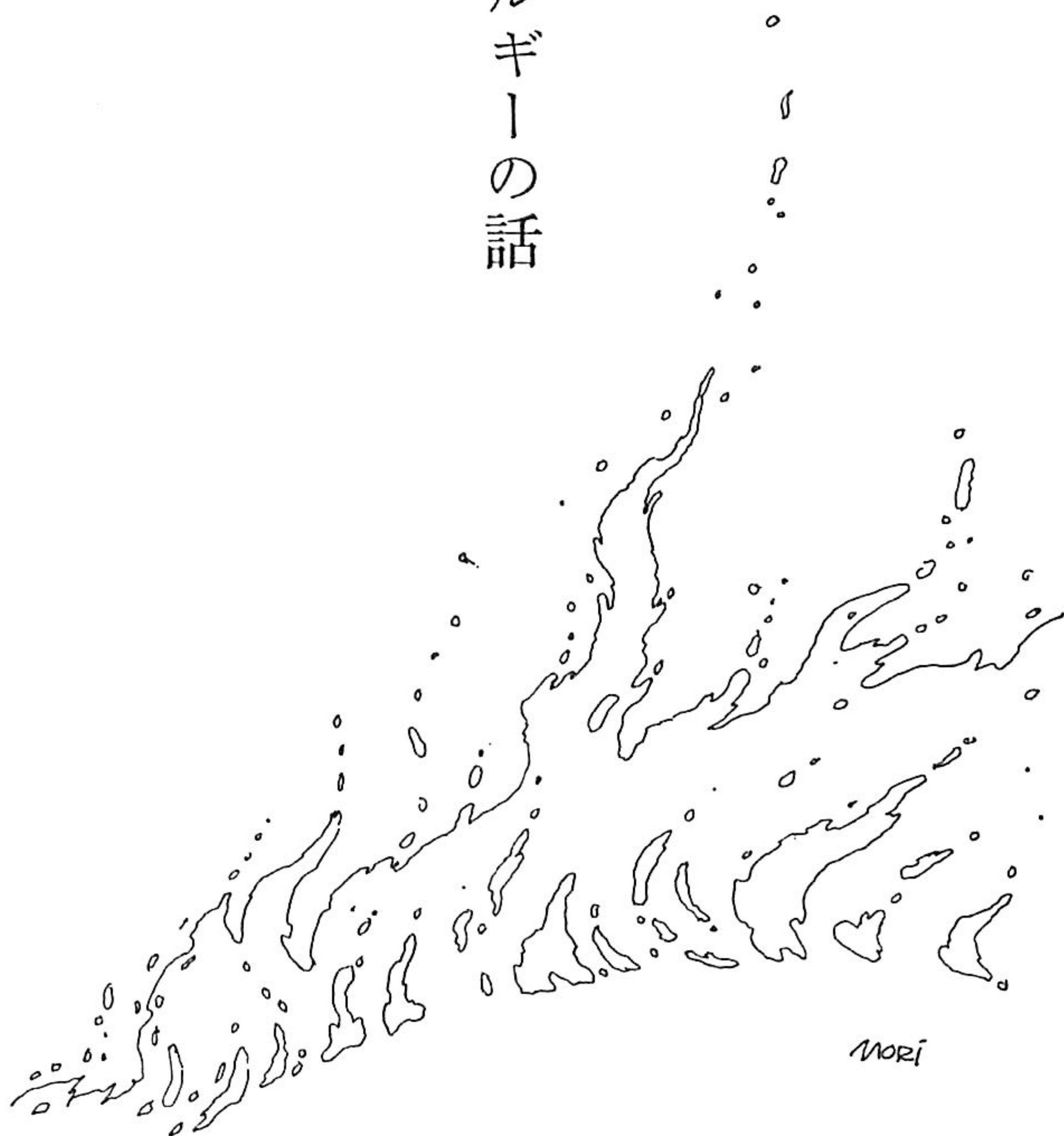
図6のような装置を考えれば、確かにこのことは可能である。コの字型の四つは磁石であり、下部の二つは車体を上方に持ち上げる役をし、上部の二つは車体が右にも左にもくっつかないためのバランスを保つものである。こんな簡単な仕組みで物体が宙に浮くなら、無理をして超伝導体などもち出すことはないではないか、と思うかもしれない。しかし、図6は一見やさしそうに思えるが、〝安定性〟という意味ではきわめて困難な機械である。下部の磁石が（つまり車体が）少しでも上がりすぎると、磁石は上方の鉄（レールの一部）に吸いついてしまう。下がりすぎると磁力は弱

まって、車体はドスンと落ちることになる。円錐をさかさにして机上に立てるのと同じほど不安定な状態であり、特殊な工夫が要求される。

日本の新幹線は時速二五〇キロをだすが、これ以上の超スピードということになると、列車を線路上に浮上させなければならない。そうして、⑧と⑨との両方の方式による研究が進められ、現在ではすでに試験段階に入っている。

しかし……UFOを信じる人たちは、浮遊の原理として⑧や⑨を考えているわけではあるまい。⑧や⑨はあまりに物理的であり、あまりに実現の可能性が大きすぎる。UFOはもっと〝夢〟に近いものでなければ……満足しないのではなかろうか。

Ⅵ　エネルギーの話

MORI

恒星間旅行の夢

太陽系の惑星の一つである地球上に発生し、進化し、そうしてホモサピエンスとよばれるようになった人間は、ついにおのれの住みかだけに飽きたらず、他の天体にまででかけて行ったり、あるいは精密な測定器を送り込んで、その天体についてのさまざまな情報を得るようになった。月面上の散歩などということにはもはや誰も驚かなくなり、一九七六年には火星に探測器を着陸させて、その表面のいろいろな性質を調べた。

科学はいつも、思いもよらない結果を実現させて人々を驚かす。一〇〇年まえには、深海を潜航することも、空を翔けることも夢物語でしかなかった。そうして三〇年まえまでは、宇宙旅行の実現などは、たんなる空想の域を出なかった。月の光は人の心にやすらぎの雰囲気をかもしだして、ときには音楽の主題となり、満天下に輝く星は深夜の天空を飾る真珠のまばたきであった。ところがここに科学が割り込んできて……荒涼とした月世界の砂漠や、真夏でも酷寒の火星表面を紹介した。科学とは、元来が現実的なものであり、ときには無粋の象徴でもある。

Ⅵ　エネルギーの話

さてつぎの段階として、人間は宇宙に対してどのような働きかけをするだろうか。当分は——おそらく数十年間は——、月面への進出と惑星への計測器（さらには人間）の輸送に的をしぼることになろう。地球以外に目を向けるとき順序としては、月（地球系）、惑星（太陽系）、恒星（銀河系）、さらに銀河系外ということになるが、恒星への飛行は（無人船にせよ人間が搭乗するにせよ）現在あるいは近い将来の技術ではとても考えられない。地球から恒星までの距離は、惑星とくらべて桁違いに遠いのである。天体間の距離は、ふつうは光がそこを通過する時間で表す。月が一・三秒、太陽が八分、地球と惑星間は距離が常に変わっているが、多くは数分から数十分、これに対して恒星までは数年から数十年、数百年以上もかかる。かりに惑星までの距離を一センチとしてみると、最も近い恒星でさえ東京駅と横浜駅くらい離れていることになるのである。現在の宇宙船では月までが数日、惑星までに数十日の日数を必要とする。かりに平均速度がこれと同程度だとしてみると、恒星に到達するには数百万年もかかってしまう。

恒星間旅行の夢をかなえてくれるものがもしあるとすれば、それ相応の速度（正しくは速度の増加、つまり加速度）をもたなければならない。そうしてかりに……そのような猛スピードにまで到達できるものがあるとするなら、それは光子ロケット以外にはなさそうであ

る。技術的に可能かどうかはともかくとして、科学的な原理を求めるかぎり、光子ロケットに頼らざるをえない。

他の天体から地球に円盤状の物体が飛来している……というのが、ここ数十年のもっぱらの話題である。ＵＦＯとよばれているが、それが宇宙空間をどの程度の速度で走ってくるのか、何も説明されていない。ＵＦＯを多少なりとも科学の基盤にたって解説する人々は、やはり光子ロケットをもちだしているようである。もちろんＵＦＯは文字どおり未確認のものであり、それの存在を支持する科学的根拠はみあたらない。したがって光子ロケットの〝実在〟も……残念ながら現段階においては「理論的に可能」という以外に、表現のしようがない。しかし、地球から遠くに行くにせよ、あるいは宇宙のどこかからやってくるにせよ、これしか方法がないというなら、その光子ロケットとよばれるものは、いったいどんなメカニズムをもったものであろうか。特に、「物体が移動するために必要なエネルギー」という事柄を中心にして、卑近な例から考えてみよう。

自転車はなんの力で走るか

地球の表面にいて、物体を高い場所に持ち上げれば、その物体の位置エネルギーは増す。したがってそのぶんだけ持ち上げる人間は仕事をしなければならない。いいかえると、人間の方はそれだけエネルギーを消費することになる。「エネルギー保存の法則」という科学の大原則のまえには、以上のことは当然である。

しかし実際には、水平な場所でこちらからあちらへものを運ぶ場合にもエネルギーが必要である。一生懸命努力しても（具体的にいえば、力を出してものを動かしても）ものの方は少しも位置エネルギーがふえない。一見不公平のようだが、地球上では摩擦や抵抗が不可欠である以上、やむをえない。そうして抵抗を小さくするために、地上では車輪が、水上では船舶が採用された。特に後者は大量輸送の機関として、物質文化に大きな役目をはたしてきた。

ところで輸送に必要なエネルギーの方はどうであったか。舟に帆を張り風の力で航行することは古くから考えられていた。ところが風力利用以外には、ほとんど二〇〇年まえまでは

人畜による力だけが頼りであった。長い人間の歴史をみて、政治、経済、芸術などの進歩や変遷はめまぐるしいばかりだが、エネルギーの開発は忘れられていた。

平安時代に興った武士は、馬に乗って戦った。鎌倉時代にも戦国時代にも、人間の足に代わるものは馬であった。ジンギス汗もナポレオンも騎兵使いの名人ということで、随所の戦闘で勝利を収めた。馬のような重宝な乗りものが、かえって輸送機械の考案をおくらせたのかもしれない。

燃える石（石炭）や燃える水（石油）は昔から知られていた。しかし熱を得る——具体的には住居を温め、食物を料理する——ためには、少量の薪炭で十分だった。それがふとした拍子に（というよりも、実際にはその必要性があってのことだろうが……）熱を動力に変える装置が発明されたのである。くわしい話は科学史や技術史に譲るとして、とにかく十八世紀後半から工場は機械化され、さらに船舶や自動車などのエンジンもつくられるようになった。

小学校のころ、先生から「自転車は何の力で走るか」と聞かれたことがある。これに対して「輪」だとか、「チェーン」とか、なかには「ペダル」、「歯車」などという解答がでてきた記憶がある。これらはいずれも正解ではなかった。「人の力」と答えなければならなかっ

た。自転車は、人力以外の何ものも用いていない。

外部構造は似ているが、この意味でオートバイは自転車とまったく違う。液体燃料を使うという点で、オートバイはむしろ自動車と同類である。〝化学エネルギー〟を用いるという意味では、自動車だけでなく、汽車もディーゼル車も動力を用いるいっさいの船舶も（ただし原子力船は別）、みな同じだと考えていい。ふつうエネルギーといえば、光とか音とかの物理現象を想像するが、石炭や石油のように物質そのものの中にたくわえられているエネルギーを化学エネルギーとよぶ。これらを構成する分子は、主として炭素や水素などからできているが、これが空気中の酸素と化学反応して二酸化炭素や水蒸気のような価値の低いものに変わるとき、大量の熱がでる。高熱の気体によって車輪は回り、スクリューは回転する。こうした機械の開発により、改めて石炭や石油が見直されたことは当然である。そうして初期の頃には工業地帯は炭田に付随して建設されたが、後には採掘や輸送のコストの安い液体燃料にきりかえられて現在に至っている。もっとも〝乗り物〟の中で、電車やトロリーバスなどは電気エネルギーを利用しているが、現在の電力の多くが火力に頼っていることを思えば（火力以外に水力と原子力とがあるが……）、電車も結局は化学エネルギーを使っていることになる。

化学エネルギー

地上輸送はさておき空を飛ぶ〝乗り物〟についてはどうか。プロペラ機もジェット機も力学的な機構は違うが、ガソリンの燃焼、つまり化学エネルギーを利用するということでは同じである。前者では高熱によって生じる圧力をいったんプロペラの回転にして、後者ではもっと直接的に高圧ガスの後方への噴射の反作用で推進力を得る。空中の物体は水上を走る船舶類よりは（同一条件では）さらに抵抗が少ない。しかし……抵抗も小さいが同時に浮力も小さいため、あまり重量の大きいものを飛ばすわけにはいかない。要するに航空機では、重さの方が制限されるかわりに、船舶にくらべて速度の方でぐっと差をつけることになる。

人工衛星や、月や火星などに向かうロケットは、噴射式という意味ではジェットと同じである。メカニズムは同じだが、燃料が違っている。ロケットは火薬を使う。火薬を構成する分子は（ニトログリセリンとかトリニトロトルエン――いわゆるTNT――とか、火薬にもいろいろな種類があるが）、分子の中に酸素原子が含まれている。そうしてこの酸素原子が、やはり分子の中にある炭素原子や水素原子と結びつく。つまり分子が自己調達（？）で化学

反応を行い、大量の熱を出す。したがってジェットと違い、酸素のない真空中でも爆発可能である。

ガソリンは地中から採出される石油のうち、小さな分子（化学でいう分子量の小さいもの）をより分けさえすればいいが、火薬は工場で人工的につくらなければならない。当然割高になるが出力が大きいため、第二次大戦末期には戦闘用の飛行機に利用したり（たとえばドイツのメッサーシュミットや日本の秋水など）、無人飛行機をつくったりしたが（代表的なものはドイツのV2号(ブイ)）、現在のロケットは大気圏外を走るのを目的としている。真空中では抵抗はない。したがって大気圏を脱出した後に噴射を止める。ただし地球などの天体の近くでは重力が作用しているから、人工衛星は円（または楕円）運動になり、まっすぐに月世界などに向かう場合には減速することになる。しかしそのぶんはあらかじめ計算されていて、噴射を止めるまでには必要な速度に到達するようになっている。だからロケットの噴射は加速時にだけ行えばいい。実際に火薬はガソリンと違って消費量が大きいから、連続して長時間にわたって使用するわけにはいかない。このようにジェットエンジンとロケットとの違いは多々あるが、化学エネルギーを利用しているという意味では同じである。

原子力ロケットは可能か

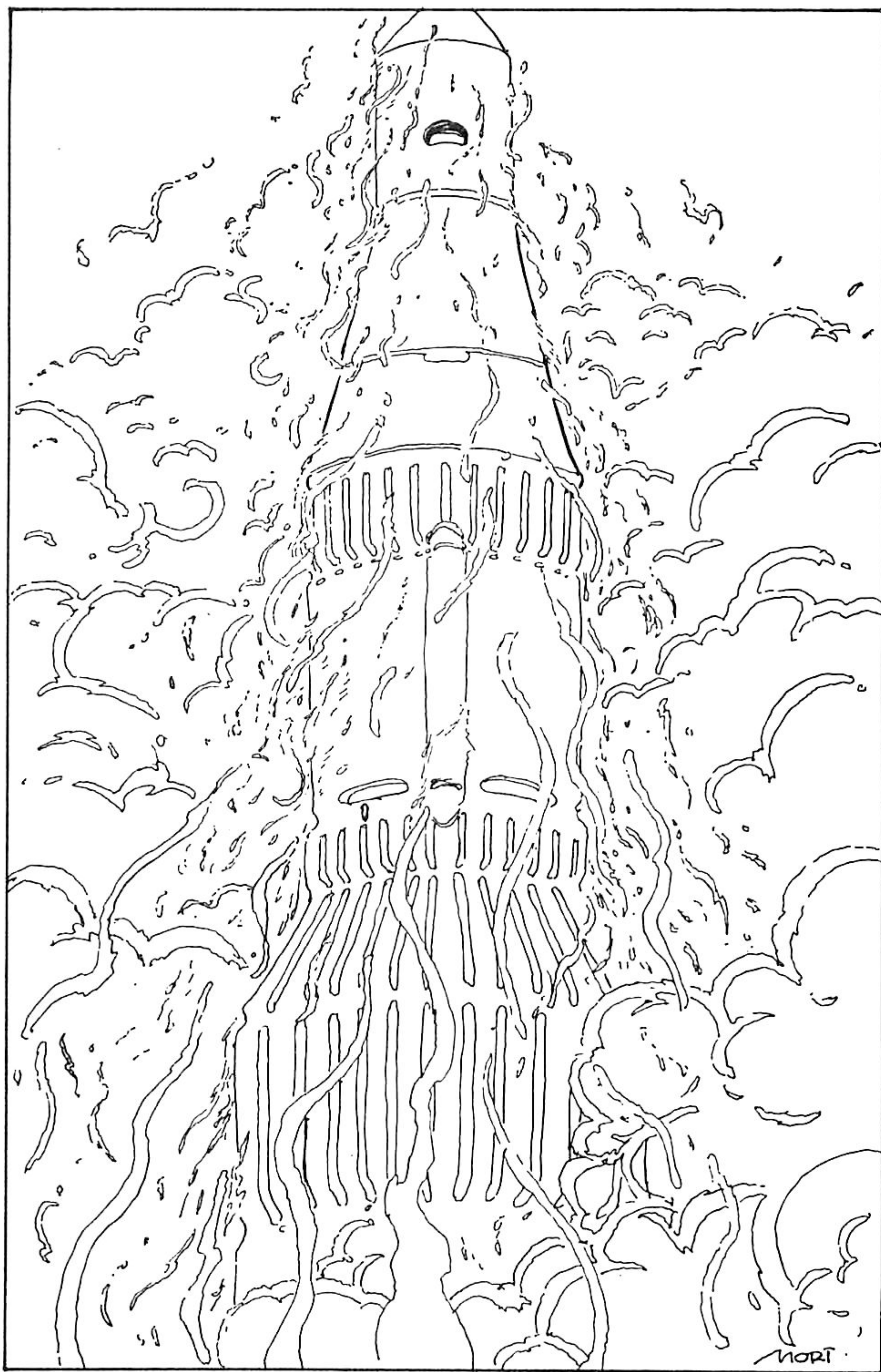
化学エネルギーについで登場したのが原子力エネルギーである。最初は爆弾となって現れたが、現在では主に電力に利用している。化学反応では「分子」は変化するが、反応の前後で「原子」の種類も個数も変わらない。ところが原子力の方は、原子自体が別のものになってしまうのである。くわしくいうと、原子の中心にある原子核は陽子と中性子とからできているが、これらの何個かがとび出したり、あるいは外から来た中性子を抱え込んだりして、原子核は別種のものになる。原子の変換は、一八九六年にフランスのベクレル（一八五二～一九〇八）がウラン鉱石から不思議な線（今日でいう放射線）が出ているのを発見したのがそのきっかけだといわれているが、すぐ後にキューリー夫妻（ピエル・キューリー一八五九～一九〇六、マリー・キューリー一八六七～一九三四）によって、原子の自然崩壊が確かめられ、これがラジウムの発見などにつながった。一九一九年にはイギリスのラザフォード（一八七一～一九三七）が窒素にアルファ粒子を当てて炭素（正確には炭素の同位元素）をつくり出すことに成功している。このように核変換の歴史は意外に古いが、これが実用化さ

れるようになったのは、第二次大戦末期のにがい経験をへてからのことになる。

化学反応の種類は多くてとても数えきれないが、実用化されている核反応の種類はほんのわずかしかない。天然のウランから、質量がわずかに小さいウラン二三五を分離してこれをこわすか、あるいはウラン（九十二番元素）からネプチニウム（九十三番元素）をつくり、さらにこれをプルトニウム（九十四番元素）にして、プルトニウムを分裂させるか……である。

これらの原子核は連鎖的に分裂するが、少量ずつ持続的にエネルギーを発生させる装置が原子炉である。原子炉というと、何かえたいの知れない神秘な機械のように感じるかもしれないが、要は原子をこわすことにより高熱を得て、（蒸気機関車と同じように）その熱で水を沸とうさせてタービンを回すにすぎない。このタービンが発電機になっている。スクリューを回すにも、電流をつくるにも熱い蒸気をつくって軸を回転させるだけでいい。最後は簡単な運動エネルギーのかたちで利用することになるわけである。

核分裂の場合には、原子一個の反応で出る熱エネルギーは化学反応にくらべて、百万倍以上も大きい。つまり核分裂では、石炭や石油とくらべて（さらに火薬と比較しても）、はるかに少量の燃料でエネルギーが得られる。ただし原子力の場合には、燃料であるウラン二三五

Ⅵ　エネルギーの話

を天然ウランからより分けること、反応を徐々に進行させるために減速剤(こわれたウランから中性子がとびだすが、これの速度を弱めるためには炭素や重水が適している)などを巧みに利用すること、老廃物は非常に危険だから(放射能を放って、いわゆる死の灰をつくる)これの処理に十分気を配ること、などの問題を克服しなければならない。

石炭や石油はエネルギーのかたまりであるが、これらは空気がないことには熱に、したがって動力に変えることができない。潜水艦の最も大きな悩みはここにあった。浮上中に重油でディーゼル機関を動かし、同時に発電機も回して蓄電池に電気をたくわえ、潜航中はこの電気エネルギーにより航行する(もっともドイツ軍がシュノーケル——管を水面上に出して空気を取り入れる装置——を開発したが……)。蓄電池とは、自動車のボンネットをあけたとき見られるあのバッテリーのことである。バッテリーは図体(ずうたい)の大きいわりには、蓄積できる電気エネルギーは少ない。最近ではバッテリー入りの腕時計が多く市販されているが、エネルギーが少量だからこそあのような小型化が可能なのであり、〝乗り物〟を動かすほどのバッテリーは、かなり大きなスペースが必要である。実際にふつうの潜水艦では、現在でも居室部分などを犠牲にして、「電気エネルギーの蓄積部屋」に当てている。トランジスタの開発により、通信機器の小型化は全く驚異的であるが、それにくらべて電気エネルギーの蓄積

は、これまた驚くほど進歩していない。これが成功すれば、すべての自動車が電化されて、排気ガスによる公害は解消されるが……大量の電気を小部分に集めることは、原理的に無理なのである。原子力が特に潜水艦に利用されたのは、以上のような理由による。

この原子力を使ってロケットを加速させたら……技術的にはかなり困難だろうが、確かに火薬ロケットよりは高性能であろう。しかし原子炉の出力がせいぜい五〇万キロワット程度であることを思うと――もちろん将来には、原子炉の出力は増大するであろうが――、たとえ核反応を用いても恒星への旅行はおぼつかない。なお重水素やリチウムを用いる原子核融合でも、エネルギーは核分裂と同程度であり、宇宙空間への飛躍は無理である。

〝光子ロケット〟のしくみ

化学反応にしろ核反応にしろ、反応後の〝物質〟を後方に捨て去るものがもったいないのである。アインシュタイン（一八七九〜一九五五）は一九〇五年に特殊相対論を発表した。空間と時間とを同一に考える四次元的な思考は措くとして、相対論の中には質量とエネルギーは同等であることが述べられているのである。

燃料（という言葉で表現するのが正しいかどうか疑問だが）を完全にエネルギーに変化しきってしまうとき……最も効果的に推進力が得られることになる（実際に核分裂では全体の質量の〇・〇五パーセントだけが、核融合では〇・九パーセントがエネルギーに変化する）。質量をすべてエネルギーにおきかえれば、計算によると、わずか一グラムの質量が一〇〇兆ジュール、ほぼ広島に投下された原子爆弾のエネルギーに相当する。ロケットがかかえている燃料を、この程度に完全にエネルギー化しなければ恒星間移行は望めない。

この変化を粒子の立場からみるとどうなるのか。陽子や中性子が消失して……〝無〟になってしまうわけではない。〝無〟になるのは質量であり、素粒子がなくなってしまうのではない。質量のない〝光子〟に変化するのである。このような〝素粒子の変換〟は、現実には宇宙線の観測で認められる。宇宙のどこからともなく第一次宇宙線（主として陽子）が地球近くに降り注いできて、そのエネルギーが非常に大きいとき、これがパイ中間子やその他さまざまな素粒子になり（一つの高エネルギー陽子から、おびただしい数の素粒子がつくられる）、さらにそれがミュー粒子や電子、あげくのはては光子になる。光子というのは、実は光（正確には電磁波）のことである。質量をもつ陽子が、質量のない光になってしまうのであるから、もしこの変換を大量的に行ったら光のエネルギーは物凄い量になり、それはすさま

じい圧力をひき起こすことになる。太陽から地球に降り注ぐ光の圧力は、一平方メートルあたり〇・五ミリグラム程度であり、こんなものはわれわれはとうてい〝圧力〟として意識していない。それだけに〝光の圧力〟というものを想像することは困難であるが、とにかくこのような装置によって加速するものが光子ロケットである。

とはいうものの、素粒子の変換にも、核反応におとらずきびしい条件がある。くわしく述べたらきりがないが、かりに光子ロケットに利用されるとしたら、陽子と反陽子の結合というように、反粒子間の衝突を利用することになろう。反粒子という燃料をタンクに入れて運ぶことができるかどうか、という技術的な問題は……もちろん未知である。

物理や化学では〝ものの変化〟を扱う。この変化を箇条書きにして結論としよう。

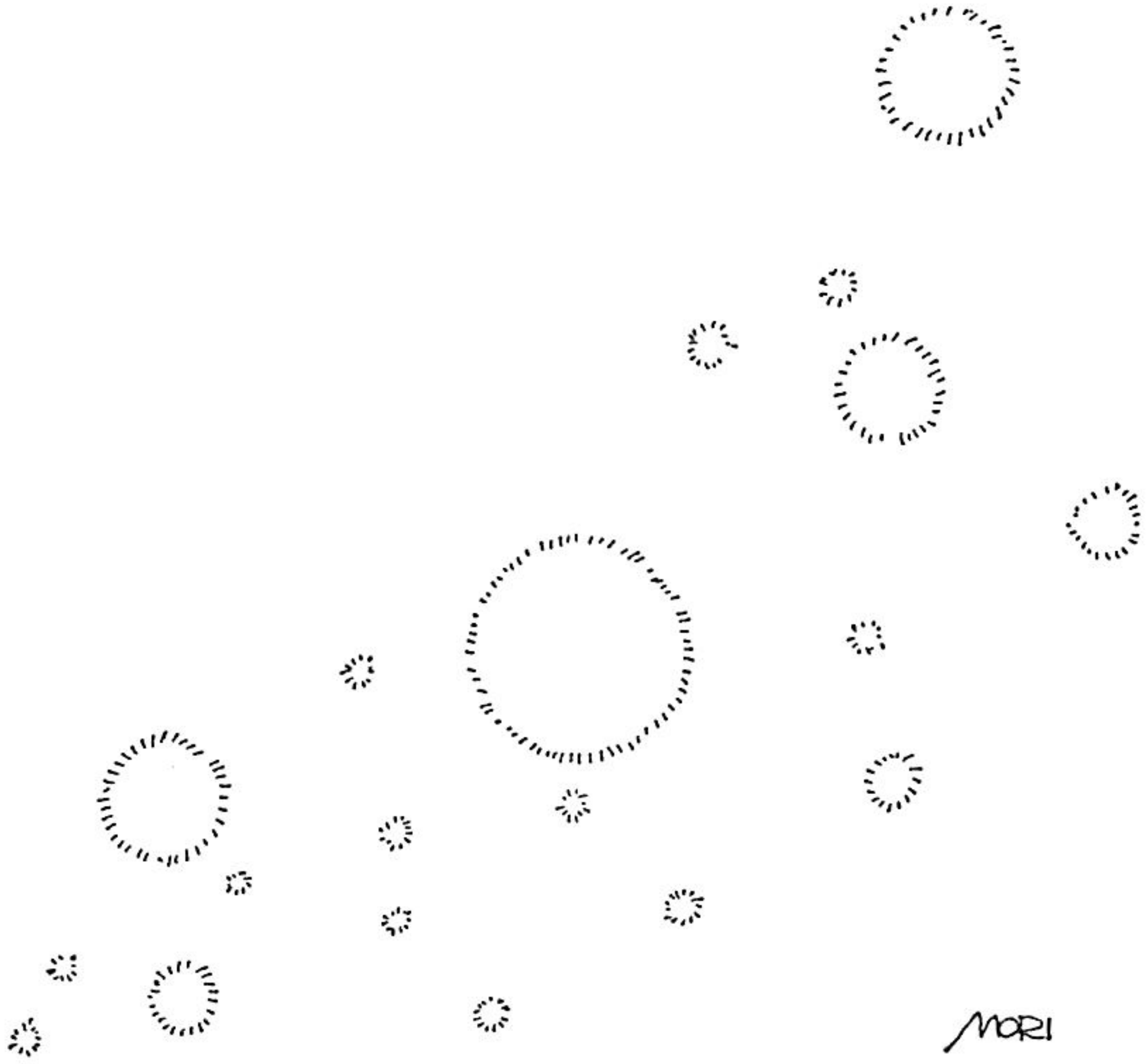
①状態の変化。分子は変わらず、その配列の様子が変わる。融解とか磁性の消失などで、物性物理や物理化学の研究対象になる。

②化学反応。化学のメイン・テーマである。

③核反応。核分裂と核融合とがあるが、前者はすでに実用段階に入っている。

④素粒子の変換。物理学の最も重要な分野の一つである素粒子論の主要課題であり、特に高エネルギー実験物理学で精力的に研究されている。

結局、光速度にも匹敵するほどの加速をつけるためには、日常的な①や②ではだめ……といって現在研究途上にある③を利用してもどうにもならないということである。素粒子自体の消滅（正確には光子への変化）という、すさまじいエネルギー放出だけが「理論的に可能」な方法と考えざるをえない。そのことが、現実面ではSF的な想像にすぎないのか、あるいはいつかは可能になるのか、科学者の中には残念ながら確信をもって断言できる人はいないのである。

Ⅶ　極微の世界

将門の替え玉

敵将は下総の国のどこそこにいる、すぐに軍を出してこれを討ちとれ、との檄をとばし、騎馬隊を急遽派遣する。しかしその翌日、「敵将は常陸の国に入った」とのしらせがあり、あわてて軍を引きかえさせ、常陸に向かわせる。ところがつぎの朝すぐに「敵将は武蔵の国だ」と見張りの者からの報告が入り、北に向かわせた軍を今度は西に走らせる。走らせてはみたものの、武蔵の国にもいない……。騎馬隊は奔命に疲れきって戦意を失い、そのすきにわずかの伏兵のために壊滅させられてしまう。平安中期の武将、平将門はこのような戦法を用いて、敵を東奔西走させて関東での各地の戦闘において勝利を得ることが多かったという。彼の率いる手勢は少数ながらまさに神出鬼没、一日に数百キロを走る機動力をみて、「将門速し」、「将門強し」と恐れられるようになった、というのがいい伝えである。

ところが、実際にはそうでなかった（と、これもいい伝えにすぎないが……）。いくら騎馬の技術にたけていても、手下を従えて昼夜を問わずに毎日数百キロも走ることは不可能である。さらに、昔の日本の馬というものは、現在のものとはまるで違って、小型で活動力も小

さい。それらしき日本の馬の子孫は、現在ではわずかに九州の都井岬付近などに生き残っているにすぎない。現在われわれのみる馬は、多くは明治以後に種馬が輸入されて、品種改良されたものである。だから映画やテレビの時代劇で、武将が「現在馬」に乗ってあばれ回っているのは、時代考証的な意味で正しくない。画面でみるような勇ましいものではなく、戦国時代の武将はもっと貧弱な馬に乗って、われわれが想像するよりははるかによたよたと(?)、走ったことであろう。しかしそれでは活劇としてさまにならないから、平安時代の侍までもが、アメリカの西部劇なみの馬で勇ましく走ることになる。

　ということになると、神出鬼没は嘘になる。嘘ではあるが、あちらに出現した、こちらで敵勢を襲った、ということがやつぎばやに行われたのが本当だとするならば、将門は何人もの替え玉を使ったと考えられる。古典的な戦闘では、兵を指揮する大将の勇猛さが、勝利の要因になることが多い。大将の名声が高ければ高いほど、敵を威嚇混乱させるためにも、本人自身の安全を期すためにも、替え玉の効果は大きい。十三世紀の初めに、蒙古から中近東にまで攻め込んだジンギス汗も、大いに替え玉を利用したといわれている。

　物理学の、というよりは全く常識的な自然界の法則として、

「一つの物体が、同一時刻に、異なる場所に存在することはできない」

というのと、

「異なる二つ以上の物体が、同一時刻に、同じ場所を占有することはできない」

という二つの原則がある（物理学でいうならば、二つの原則があった、という方が正しい）。考えてみれば、あほらしくなるような当然の話だが、推理小説などはこの原則を大前提として成りたっている。アリバイという言葉も、この大前提があるからこそ無条件に受け入れられるわけであり、推理小説の多くがこのアリバイをめぐって謎解きに興味を展開させている。

アリバイ崩しの解答に将門式の「替え玉」が用いられることがあるが、これは小説の構成がよほどしっかりしている場合を除いては、「謎解き」としての興味は薄い。他人なら、同一時刻に違う場所にいても当然だからである。犯人自身が、「かなり離れた場所に、極めて短時間のあいだに出現する」という問いの解答を、あれやこれやで探しだすところが、意外性があっておもしろい。

特に鉄道網の発達した日本では、列車ダイヤがよく利用される。この場合、作家は列車を巧みに乗り継いだとき所要時間が、読者が常識的に考える所要時間よりも短いことを、あらかじめ列車の時刻表から探しだしている。最も簡単な例の一つをあげると、（これは著名作

家が使ったトリックだが）ある時刻に群馬県の前橋にいた犯人が、二時間あまり後に栃木県の小山で人を殺す。この間を自動車で走った気配はない。国鉄両毛線の利用が考えられるが、「その時間」に間に合うような両毛線のダイヤはないのである。殺人は不可能……と思われたが、名推理をなす者が現われて犯人は逮捕される。犯人は……車を使ってすぐ近くの高崎へ出て、高崎線で大宮に行き、すぐに東北本線に乗って小山に行く……というのが謎解きのポイントである。高崎線や東北本線は列車の回数も多いし、しかも速い。ローカル線である両毛線の比ではない。幾何学には「三角形の二辺の和は、他の一辺よりも長い」という定理があるが、時間を問題にするかぎりでは、この定理は必ずしも普遍性をもたない。

　ここでの話は、アリバイ崩しを考えようというのではない。人間が、短時間のあいだに別の場所に存在したとしても、それはあくまでも「移動」である、ということをいいたかったにすぎない。一人の人間が二つに分かれる道理はない。忍術映画や子供むけのテレビなら、一人の人間（怪物？）がずずずと横に広がり、これを倒そうとする者の目をくらます。これを斬ろうとしても、どこに刃を向けていいのか戸惑う。怪物らしきものは声高に相手を愚弄し、相手がひるむと再び重なり合って、一つにもどる。ただしこの場合には、一つだけが本物で、「その他」は単なる虚像にすぎないのか、それとも何人（何匹？）かに分かれたも

のの全部が本物なのか、映画やテレビでは説明もしないし、またそんなことを詮索する視聴者もいない。実は、このことは（全部が本物かどうかということ）物理学にとってきわめて重要な内容であるが、なぜそんなことにこだわるのかを述べていこう。

ものも同時に二ヵ所に存在しえないか

人間は同時に二ヵ所に存在し得ないが、一般的な「もの」についても同様の命題が成立するのか。自然界の「もの」を広く研究してきた物理学でも、一九二〇年ごろまではこの命題は批判の余地のない真実だと考えられてきた。「もの」の研究といっても、一方では石とか金とか水とかがその対象になるが、他面ではこれらの構成要素はなにかとの疑問を常にかかえて、結局分子、原子にいたり、さらに原子は中心の原子核とその周囲をまわる電子からできていることが解明された。さらに原子核は多くの陽子と中性子とが固く結びついているものであることが明らかになった。電子、陽子、中性子などを素粒子とよび、これが「もの」の究極的な存在だ、と考えられてきた。考えられてきたけれども、現在ではその種類が三百以上にも及び、基本となる粒子というには、あまりにも多すぎる。というわけで、今日の物

理学者はさらにこれらの「もとじめ」となる少数の粒子があるに違いない……という見解に立ち、これに対してさまざまな仮説が立てられているが、残念ながら実験的に検証されるには至っていない。

素粒子の統一の問題は別として、その中の代表例である電子について考えてみよう。電子は原子核の周囲にいる。もし金属原子が密集すると（つまり固体になると）、各原子から一個か二個程度の電子が原子から離れてしまい、固体内をうろうろする。これらが特定方向にそろって移動する現象が電流である。もっとも、電子が発見される以前にきめられた電流の方向は、電子の動きとは逆であった。

ボーアの考え方

原子の中で電子がどんな状態になっているかは一九一一年にイギリスのラザフォードによって調べられ、その結果は当時の国際的な物理学会の第一人者であるデンマークのニールス・ボーアによって理論づけられた。これによると、電子はあたかも太陽のまわりの惑星のように、原子核の周囲をまわっている。惑星の場合には万有引力のために円運動（正確にい

う と楕円運動) をするが、原子の中では、電子のもつマイナスの電気と、原子核のもつプラスの電気とが引き合い、この力を求心力として回転することになる。大きい原子では電子の数も多いが、太陽系にたくさんの惑星があるのと同じで、原子核はこれらの電子を周囲にはべらせている。さらにボーアは、電子の通る軌道も、はっきりときめたのである。

原子の構造をくわしく述べるつもりはない。ここでの話のポイントは、最初に紹介した命題（一つの物体が同時に二ヵ所……など）の検討である。そのためには、二番目に軽いヘリウム原子を考えるのがいい。

もっとも軽い水素原子は、中心に一個の陽子があり（水素にかぎり、原子核イコール陽子ということになる）、一個の電子は正確な円軌道を描くが、その半径ははっきり計算されていて、〇・五二九オングストローム、いいかえると直径が一センチの一億分の一あまりである。

この軌道上を、一個の電子がまわっているのが水素原子である。そうして二番目のヘリウムでは（原子核の重さは水素の四倍ほどだが）、やはり同じ大きさの軌道上を二つの電子がまわることになる。そのつぎに重いリチウムでは、第三番目の電子はこれよりも半径が四倍も大きい円軌道をまわるのであるが、いろいろな原子について調べ始めたらきりがないから、

電子
原子核
ボーアの模型

(2個の電子)

N S S N
本当の電子

(2個の電子)

8　前期量子力学と量子力学

話をヘリウムに絞ることにしよう。

同じ軌道を二つの電子が走っていても、同方向で速さが完全に同じだったら衝突の心配はないだろう。惑星的な構造を原子に当てはめたものをボーアの原子模型というが、ボーアの模型に関するかぎり、さきに述べた命題はそのまま成立する。電子はあくまでも玉であって、二つの玉が重なることもなければ、一つの玉が二つに分解することも考えられない。まことに「すなお」な解釈である。軌道の半径がピタリときめられていることは不思議だが、原子とは元来そういうものだと考えてしまえば（このことをボーアの量子条件といい、原子とはそういうものなのだと主張したところにボーアの卓越した思想と信念とが

ある)、あとには不自然さは残らない。

一九一〇年代の、物理学者の原子観は以上のようなものであった。自然科学の世界では、ときおりとっぴょうしもない説が出てくるが――そうして、その唐突さがかえって専門外の人に無批判に歓迎される傾向があるが、「科学の基本的な姿勢」というものは、根拠のないものは受け付けないのである。思いつきのままに何を提案してもいい……ということになったら、科学そのものが崩壊してしまう。この意味では、科学は保守的であるといってもいい。ところがその保守的であるはずの科学から、斬新的な思考がつぎつぎに生み出されていくのは、まさに驚異である。

量子力学の発見

原子からでてくる光の波長などを説明するには、ボーアの模型はきわめて有効であった。ところが実験技術が進歩して、光の波長のデリケートな部分を詳細に測定したり、原子を磁石と磁石の間に入れてそのとき出てくる光の具合を調べるようになると、ボーアの模型では実験事実を完全に説明しきれなくなったのである。電子の走る軌道がまちがっていたのか、

それとも電子の個数が理屈で考えた数とは違うのか、あるいは電子以外の粒子が原子核の周囲に走っていたのか……いやいや、とてもそんな小手先の修正では、複雑な現象の裏うちをすることができないのである。

ことのいきさつを述べていたらきりがない。とにかく一九二〇年代に、コペンハーゲンの理論物理学研究所に集まった若手の学者、たとえばドイツのハイゼンベルク、スイスのパウリ、イギリスのディラックなど（いずれも当時、二十五、六歳）、さらにはオーストリアのシュレーディンガー、イタリア（後にアメリカ）のフェルミなど多くの人たちによって、「ものとはなにか」の問題に革命的な思想がもち込まれた。一足とびに結論にはしると、「もの」とは何時何分にどこそこにある……というものではなく、ここにもそこにも、あそこにもある……と考えなければならないような対象物である……というのである。

水素原子の中の電子についていうと、原子核を中心としたある範囲内（この範囲は一億分の一センチ程度）の、どこにでも存在するのである。初期のころの実験だけならボーア流の考え方でもよかったが、さまざまな現象や測定が世にでるにつれて、後者のような具合に理解せざるを得なくなったのである。ボーア流の、電子は玉だがきまった軌道しかまわれない、というのも確かにそれまでになかった思想である。だからボーア流の物理学を、それ以

前の古典物理学に対して、前期量子力学とよぶ。しかし、電子は（電子にかぎらず素粒子一般は）「ある領域内のどこにでも存在する」という思考形態は、ボーア流のものと区別して、（単なる）量子力学というのである。

量子力学の出現（出現というよりも、真実がそうなっているのだから、発見という言葉の方がふさわしいだろう）によって、「一つの物体が、同一時刻に、異なる場所に存在することはできない」の命題は破れた。それではこれを図に描くときにはどうしたらいいか。はなはだ困った問題である。仕方がないから、電子を、もやっとした煙のように描くしかない。ただし、量子力学というのは一九二〇年代に非常に進歩して、「どこにでも存在する」ことには相違ないが、第一番目と第二番目の電子（ふつうの原子では、原子番号と同じ数だけの電子をもっている）は、中心部にいる確からしさ（「確からしさ」という考え方は小学校の算数にもあるが、どうやら廃止の方向にむかっている）が大きく、中心（原子核のある所）から離れるにしたがい、存在の確からしさは減る。だから……せいぜい確からしさに応じて、図に描くときには濃淡でぬりつぶす以外にない。

それでも水素原子はいいとして、問題はヘリウム原子である。二つの電子は完全に同じ位置にいる。だから命題の二番目「二つの物体が、同時に同じ場所を占有することはあり得な

い」は完全に崩れたことになる。

なお念のためにつけ加えておくと、電子は棒磁石としての性質をもっていて（雲のように広がったものがなぜ磁石かと問われても返答に窮する。それが素粒子の本来の性質だ、としかいいようがない）、重なっている二つの電子の、それぞれの磁石のむきは完全に反対なのである。反対だからこそ同一空間を占有できるのであり、同じむきのもの二つを近づけようとすると、強い力で反発する。だから、原子のような小さな世界では、「二つの電子が同じ場所にあってもいいが、磁石としてのむきが同じではいけない」というように、命題の内容が変わっている……と考えられる。

人間は大きすぎる

それでは原子から離れて金属の中を動いている電子はどうなっているのか。いや、どうなっているのかというまえに、どこにいるのか。金属の中のど、こ、に、で、もいるのである。どこかにいるが、その場所がわからない……のではなく、一つの電子が金属という大きな固体いっぱいに広がっている、と考えなければならない。原子に付随している電子以上に、位置は不

定である。なぜそのような妙な考え方をしなければならないのか。
金属中の電子では実証しにくいから、真空中を走る電子について考えてみよう。螢光灯の管の中や、テレビのブラウン管の中で電子は走っている。もちろん走らすにはそれなりの工夫をして、管の端にある金属板から電気的な作用で(これを電界とよぶ)、原子から電子をはがしてどんどん同一方向に走らせるわけだが、ここでは特殊な装置を施せば電子が走ることを知ってもらいさえすればいい。この電子の通りみちに非常に接近した二つの窓をあけておくと、「一つの」電子は、この「二つの」窓の両方を通過して、数十センチ先のスクリーン(実験では写真乾板を使う)に「再び一つ」になって衝突するのである。窓が二つ、三つあるいは千、万とあるとき、「一つ」の電子は(たとえ一万個の窓があっても)そのすべてを通る。スクリーン上にできる縞模様から、電子はあらゆる窓を通過してきたことが逆解読できるのである。
逆解読の方法は、ややこしい波動学の理論になるから割愛しよう。波動である光が回折格子というたくさんの窓を通ると、スクリーンに縞模様ができるのと同じ原理である。ただし電子流のときには、窓と窓の間隔は一ミリの千万分の一程度であることが望ましい。このために、薄い固体を使う。固体では、原子が規則的に並んでいて、原子と原子の隙間が窓の役

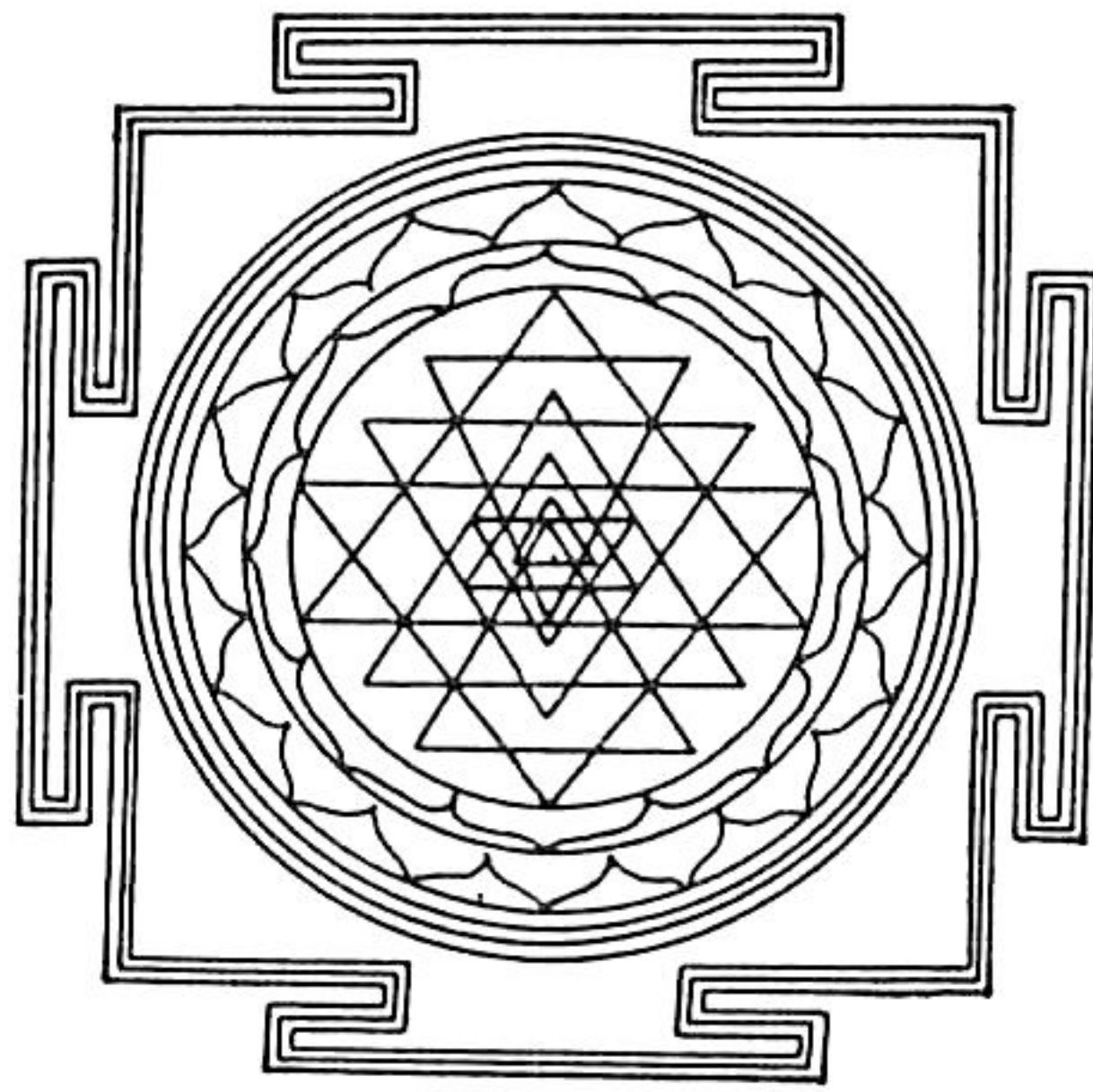
目をする。

電子は、一面ではきまった重さと電気量をもつ玉でありながら、一千個の窓を同時に通りぬける(ただし、通る瞬間には姿を見せないが……)。電子のような「物質」が、このような常識外の性質をもつ……ということを最初に提唱したのはフランスのドゥ・ブローイである。さきにちょっと述べたシュレーディンガーが、彼の物質波動説を受け継いで、きれいな量子力学をつくることになるのである。

それでは、なぜ人間に対して同様の現象が許されないのか……。人間はあまりにも大きすぎるのである。玉が雲のように広がる、ということは粒子は一面では波動としての性質をもつということであるが、光子(光を粒子と考えたときのよび名)、電子その他の粒子に当てはまる事柄も、光のように重さのないものとか、電子のように一グラムの一兆分の一のさらに十万分の一……という極微の世界にしか通用しない。人間が肉眼でみているような日常現象では、ものはあくまでも「見たままのもの」以外にはなり得ない。

自然科学は、見たり、聞いたり、皮膚で感じたりすることから始まっている。やがて計器類を用いて、直接にあるいは間接的に微小の世界に入り込んでいく。この意味では、電子などの奇妙な振舞いは……まさしく非常識なものである。

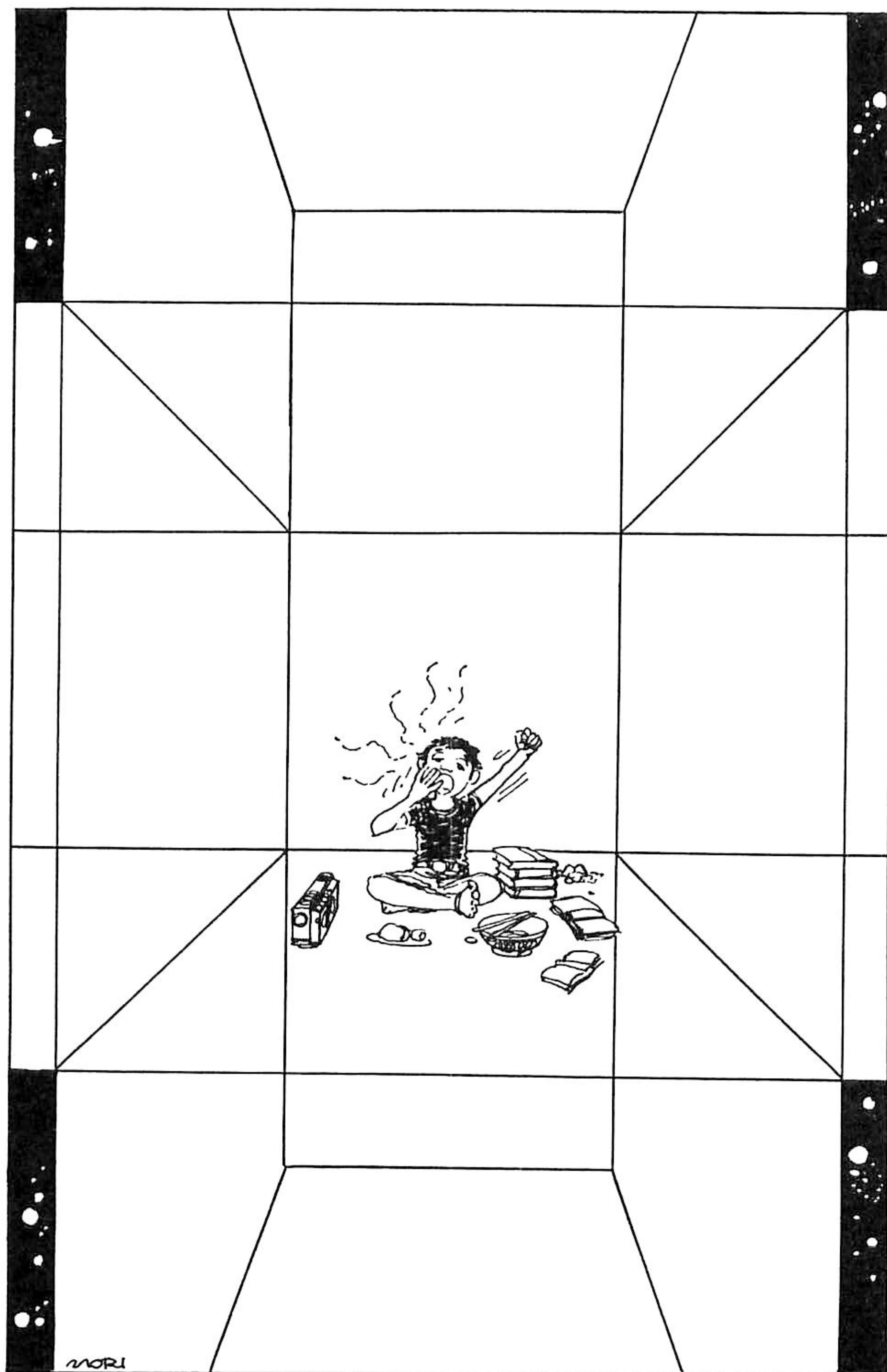
しかし視点を変えると――つまり物理学の発展の歴史にとらわれることなく「自然現象」を直接に問題にすると――ものというのは雲のようにつかみどころのないのが本来の姿であって、たまたま人間が――たとえば平将門が――あまりにも大きすぎた……大きすぎるがために最初に述べたような命題がまかり通ることになった……とするのも思考の一つである。思考の一つであるというよりも、極微の世界の現象がより普遍的なものであり、われわれが常識だと考えている内容の方が、普遍現象の極限の形態だともいえるのである。

Ⅷ　宇宙の構造

奇妙な八つの部屋

彼はその部屋から出たいと思っていた。一つの部屋にいつまでも滞在しているのは退屈である。その部屋の調度も、さまざまな飾りつけも、本棚の数多い書物も、すべて見飽きてしまった。健康な人間なら――いや、健康をそこねて病床に臥している人間ならなおさらのこと――一つだけの部屋、つまり小空間の中だけで生活するのは苦痛である。たんなる習性だけで生きている動物ならいざしらず、人間には多かれ少なかれ、まだ見ぬものに対する好奇心は大きい。

その部屋はましかく〔真四角〕である。つまり、四方の壁も、床も天井も、全部が正方形になっている。そうして壁にも天井にも、窓というものは一つもない。だから屋外（室外ではなく、建物の外の屋外のことである）を見ることは不可能である。見るどころか、屋外というものを意識することさえできない。

幸い四方の壁には全部扉があって隣室とつながっている。いや、壁だけではなく、天井にも床にも開閉の装置があり、上の部屋にも階下の室にも通行自由である。

Ⅷ　宇宙の構造

こんな妙な部屋の話をもちだしたのは、後ほどゆっくりと「宇宙の構造」を感覚的に理解してもらうための伏線である。そのためには、四方の壁と、天井と床との六つの面を同等に考えないと具合が悪い。とはいうものの、常識的な思考で「部屋」を考えるかぎり、扉をあけて隣室にいくのと、天井をはがして階上の部屋に移るのは、同等とは考えにくい。隣室に「行く」に対して、上下には登るとか降りるとかの言葉が使われる。

いささか無理な注文のようだが、登るのも隣室に行くのも「同じこと」だと思っていただきたい。物理的には重力を消し去ってしまって、無重力状態のまま、四角の部屋の中にいる。しかし同じ部屋にいることは退屈だから、隣室へも行ってみようという気を起こした……というように、（非現実な面には目をつむってもらって）まげて考えていただくことにしよう。

ルームナンバーはきまっている。最初自分のいた部分がNo.1である。ここで東西南北をもちだしてもこれからの話にあまり意味はないが、ルームナンバーをはっきりさせるために、一応方向と上下という考え方を利用してみる。自分のいるNo.1の東側の部屋番号はNo.6、南はNo.4、西はNo.3、北はNo.5、そうして上がNo.2で下がNo.7である。つまり自分の部屋の両側（たとえば東と西とか、上と下とか）のルームナンバーの数をたすと、いずれも9になっ

ている。ちょうどサイコロの面が、たして7になる数同士は隣り合っていない……のと同じ状態になっている。

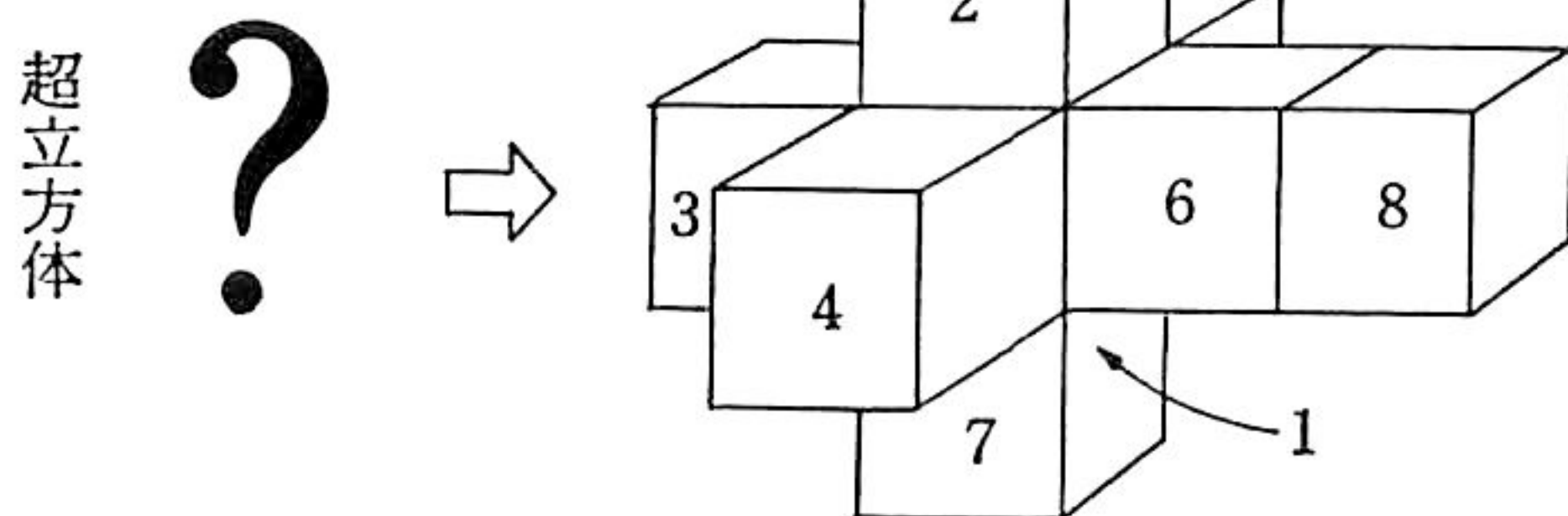
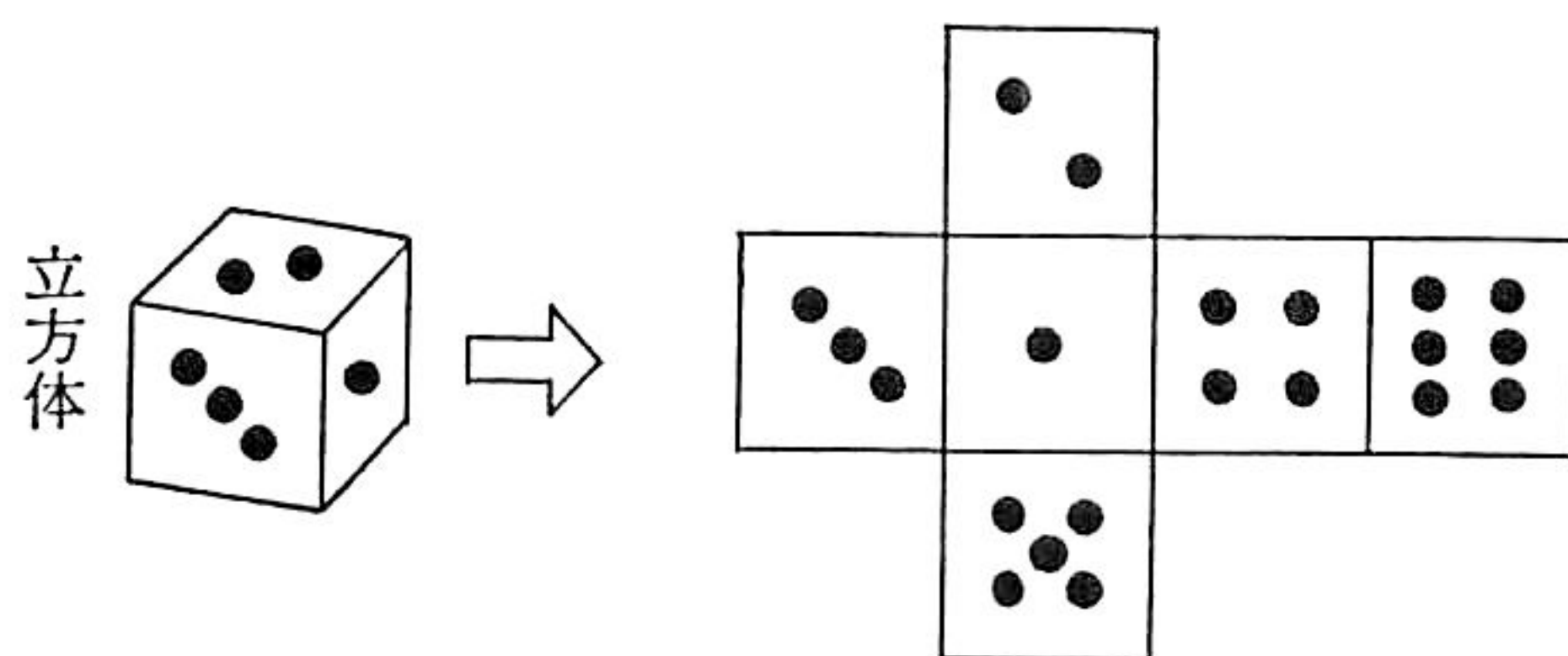
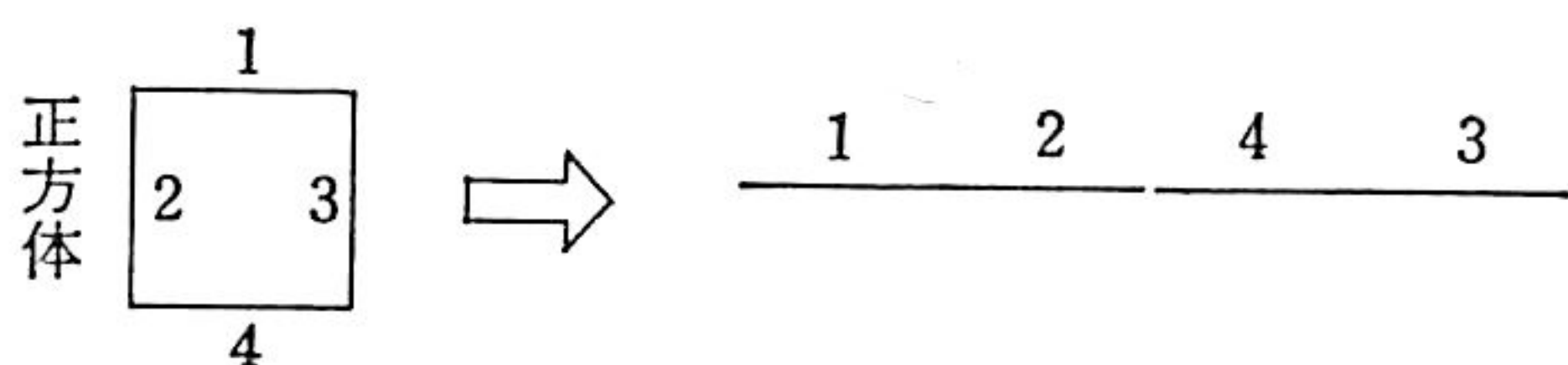
さて扉を通ってNo.2の部屋へ入ってみる。この部屋もましかく（つまり立方体）であるが、隣り合った六方の部屋の番号を見ると、さきほどのNo.1の部屋と反対側にあたる扉にはNo.8という字が書いてあるが、No.1と8以外の扉はNo.3、4、5、6となっている。ということは……No.3、4、5、6の四つの部屋は、No.1の隣でもあるし、同時にNo.2の隣にもなっているのである。

といっても、部屋の大きさが違うわけではない。全部が同じ大きさの立方体である。まことに奇妙な屋敷である。奇妙ではあるが、とにかくNo.2の部屋は隣のNo.1とは違うのだから、彼はあらたなおもいで二番目の部屋で生活を楽しむことにした。

ベッドも家具も新しい。見なれぬ本も多い。まだ味わったこともないような食物さえ用意されている。斬新なおもいで、たっぷりとこの部屋での日々を送ったが、やがて限られた調度品や周囲の眺めにあきたりなくなってきた。退屈を感じ始めたのである。そこで再び隣室に移ることにした。No.1以外の部屋ならどこでもいい。おもいきってNo.8に入ってみた。その部屋の周囲は……No.2から7までの六室になっている。そんなことはどうでもいい。この

新しい八号室にも、これまでにない新しいものがいっぱいあるのだ。こうして八号室の生活が続いたが、やがてここにもあきて、隣の七号室に移った。この部屋の六方は、No.1、3、4、5、6、8である。最初住んでいたNo.1の部屋が隣にあったのである。しかし、これは当然だろう。No.1にいたころ、隣にNo.7があったのだから、自分がNo.7に入れば隣にNo.1がなければおかしい。

七号室も見つくした彼は六号室に、そうして五号室、三号室、四号室と順に移動し、そこで暮した。そうして四号室での生活をたっぷりとエンジョイした後、改めて周囲の部屋の扉を見て愕然とした。六方の部屋はNo.1、2、3、6、7、8なのである。このうちのどの部屋でも、彼は十分に生活を満喫している。彼は新しいもの、まだ見ぬものを求めているのである。一度経験した場所には少しの魅力もない。魅力どころか退屈、いや苦痛でさえあるのだ。

試みにNo.1の扉をあけてみた。思ったとおり、昔、長いこと住んでいたそのままの部屋である。内部は少しも変わってはいない。それでは隣のNo.2は……これも見なれた道具しかない。No.4は、No.6は……順序を変えてつぎつぎに扉を開いて足ばやに部屋を回ったが、いずれも経験した所ばかりである。

見知らぬ場所へ行きたい、新しい空気に触れたい……しかし彼の行く所、行く所はNo.1からNo.8までの部屋しかないのである。焦燥感はやがて狂気に変わっていくのだが、いくらもがいても、わめいても、彼にとっての空間というものは、八つの部屋以外に絶対にないのである。

9　展開図

彼は"閉じ込められた"というべきだろうか。この言葉は少しおかしい。「閉じ込める」というのは、何らかの方法で外界と遮断してしまうことをいう。したがって中の人間は、遮断壁の近くまでくることができる。鉄格子の窓があるか、あるいは完全にコンクリートで固められているかは別として、とらわれの人間は

壁を叩いて憤るか嘆くかするだろう。たとえかなわぬまでも、壁のむこう側には解放された世界が存在するのである。

ところがここでの話の「彼」の場合には、確かに八部屋という限定的な範囲内でしか行動できないが、遮断壁というものが見当たらない。彼がどの部屋に行こうとも、その部屋の周囲のすべてに、「彼が行くことができる」場所がある。この意味で、彼はいつも「行動領域のまん中にいる」ということができる。どちらに走っても、端に到達することはできない。結局……外界というものがないのである。八つの部屋が彼にとってのすべてだということになる。

四次元の空間

いささかわかりにくい部屋の配置を述べてきたが、人間は「類似的に」ものを考える能力がある。理解しやすい例で考えてみよう。線を一次元、面を二次元、立体を三次元とよぶことはよく知られている。われわれの住んでいる空間はもちろん三次元である。三のつぎが四であることは小学校一年生でも心得ているから、この四という数字に目をつけて、「それで

は四次元とはどんな空間か」という疑問がでる。しかし現実の空間は、たて、横、高さの(それぞれ直角な)三方向にのびる三次元であり、四次元の空間などというものはない。アインシュタインの相対性理論では「四次元の世界」を問題にするが、第四番目の方向というのは時間のことであり、空間だけについていえば当然三次元である。ただし形式的な学問である数学では五次元だろうが百次元だろうが問題の対象になっている。

ところでさきほどの奇妙な屋敷の話は、部屋そのものが三次元(立方体)だから、感覚的に理解できない。次元を一つさげて二次元の空間(つまり正方形)相互の関係と考えればよくわかる。

平面の上にしか行動できない動物(たとえば蟻のようなもの)がサイコロの上にいたら、六つの面だけが彼にとっての全世界である(ただし蟻が、サイコロからころげ落ちるようなことは絶対にないとする)。一生涯、六つの面から離れることができない。

もっと簡単な例を挙げると、一次元の動物(つまり線だけを認識する動物)がいたとして、彼が正方形の辺の上に生きていたとする。この場合注意しなければならないのは、正方形の内部の四角の部分(つまり四角の面)は彼にとっては意識の外にある概念である。彼にわかるのは四つの辺だけである。ちょうどわれわれが四次元の空間を把握できないのと同じ

ように、一次元の動物には正方形の内部（あるいは外部）を理解することが不可能である。

以上のようなことは、展開図を描いてみるとはっきりする。展開図というのは、もとの形のあちらこちらにはさみを入れて切り、切り口を開いてひろげ、一つ次元の低い空間にひろげて描いた図のことをいう。正方形の展開図は四つの辺がまっすぐになった直線、立方体は六つの正方形である。

四次元の立方体は（これを超立方体ということがある）、そのものはどうなっているのか見当もつかないが、展開図（正しくいえば展開立体）の方は数学的推論から正確にわかっている。図で示したように八個の立方体が「超立方体」をとり囲むことになるわけである。展開図で、たとえば№6と№8との部屋がくっついているが、超立方体の周囲を形成する場合には、このようなくっつき方をしているわけではない。両室の壁部はぺたりとくっついているには相違ないが、たて、横、高さ以外のもう一つの方向（その方向を想像するのは無理である）でつながっている。展開図にした場合には、そういうつながりを描くわけにはいかないから、三次元的な（つまり、われわれに極めてよく理解できるような）つながりに直して描かれているわけである。ちょうどサイコロの4と6の目は、実際には立体的な空間でつながっているが、展開図にしたときは平面的なつながりに直してあるのと同じこととなる。

サイコロのときと同じように、超立方体では、その周囲の立方体の、たとえば№２と６、№７と３……などが、やはり四次元的につながっている。

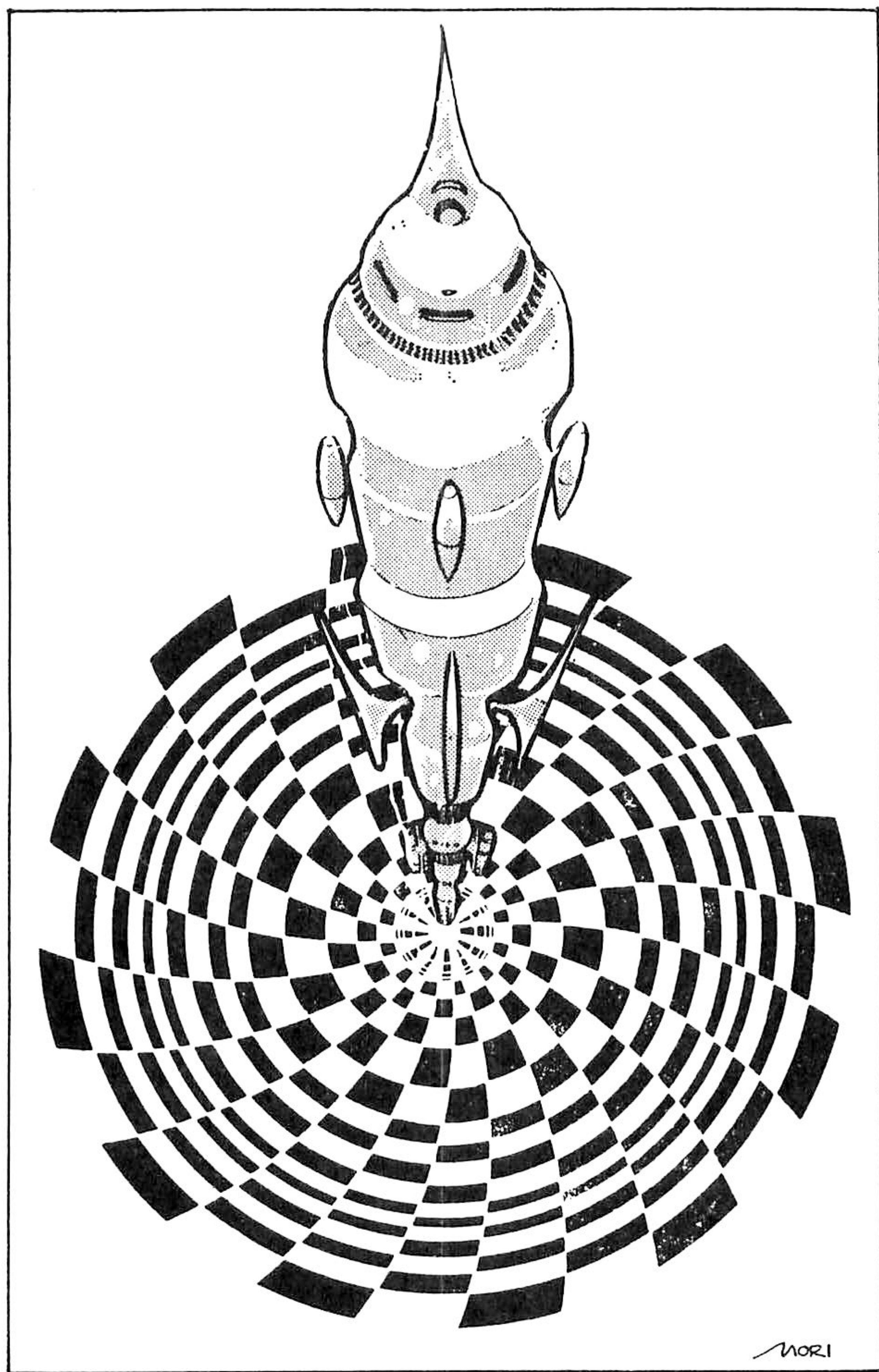
宇宙のはて

おさない子供たちは、裏のあき地に集まって、
「○○さんがやってきた。宇宙のはてからやってきた」
と言って遊ぶ。いや、遊んだといった方が正しいかもしれない。現在の子供はもうこんな遊びをする余裕もなく、都市には「裏のあき地」などとよべる空間も少ない。○○さんは七福神のこともあれば季節によってはサンタクロースかもしれない。とにかく子供の夢であり、まともに地球上に生活する実在ではない。その○○は、月にも火星にもいそうにない。そこで「宇宙のはて」ということになる。
　宇宙のはては、子供だけでなく、大人のメルヘンでもある。昼間は真青に見え、夜には幾千の星の輝くあの天空の先の先はどうなっているのか……。誰も知らない。知らないからこそ、どのような空想もそこに縫い込むことができる。

詩的な空想に科学が入りこむのは野暮かもしれないが、科学的な意味で宇宙のはてを考え込む人も多い。太陽系から銀河系、さらには他の星雲や星団、それらを横目で見ながらどんどんとまっすぐに進んでいくことができたらどうなるか。もちろんそんな宇宙船もないし、人間の寿命であるたかだか一〇〇年ばかりでは、どうにもなるものではない。しかし、現実に到達できるかどうかの話は別にして、理論的にはどうなのか。理論的——結局、真実の姿は何か。

地球のことならよくわかる。西へ西へと進めばやがてはもとの場所に戻る。球という概念は人間には容易に理解できるし、さらに地球儀のような模型も、いくらでも市販されている。ところが、こと宇宙のことになると、まったくおてあげである。

確かに天球儀というのはある。しかしこれは、地球から見た星の方向だけを同一球面上に描き込んだものであり、星までの距離はまったく問題にしていない。われわれの知りたいのは、宇宙空間での遠い遠い距離についてである。

広大な空間についての理論的な研究については、アインシュタインによる相対性理論がある。研究の基本的な部分については、一九一五年から一六年の間に発表された一般相対論が唯一のものといってよかろう。もちろん天文学、宇宙物理学は、実験（実験というよりも、

この場合は観測とか測定とかよんだ方がいい）の面でも理論の分野でも大いに発展し、現在でも自然科学の最も興味ある課題として多くの専門家によって熱心に進められているが、これらの学問の基礎になるのは一般相対論を措いて、ほかにない。

ただ……相対論が提唱されたから、宇宙のことはみんなわかった……と考えてもらっては困る。相対論をもってしても、宇宙のはてのことについては依然として未知なのである。

たとえばニュートン力学というのは、力に関するすべての現象をみごとに説明した。物体に力が加われば加速し、質量同士のあいだには万有引力が存在する。特に惑星の運動などは、ニュートンの説にピッタリの動きをしている。惑星以外の宇宙空間にこの法則を広げていっても、万有引力などが消滅している……などということはあるまい。ニュートンの説はこのように宇宙的な普遍性をもっているが、だからといってニュートンの法則だけでは、宇宙の構造はわからない。

一般相対論はニュートン力学よりもはるかに進んだものである。たとえば大きな天体があると、その付近の空間はゆがんでいることをアインシュタインは述べており、事実このことは測定によって（太陽の表面ギリギリを通る星の光について確かめた）検証されている。相対論はこのように高次の理論ではあるが、宇宙全体の機構ということになると、その方程式

を解いても、不定要素が残ってくるのである。はやく言えば、宇宙のはてということについては……世界の科学者の、誰もが知らない。現在地球上にある最大の電波望遠鏡は、八〇億光年の彼方をとらえたが、その結果から宇宙のはてを結論するのは（結論どころか推測することさえも）とてもとても及ぶところではない。

はてのない有限か

しかし、さまざまな学説はある。あまり学説が多すぎて、あれもこれもと述べると（情報過多？で）かえって混乱するから、最もシンプルな説だけを紹介しよう。

アインシュタインは、質量（つまり天体）の存在する空間（および時間）についての方程式を発表した。しかし彼は、宇宙全体の構造については少しも言及しなかった。が……おそらく彼は、宇宙全体は限りある広さをもち、境目がない……と考えていたようにおもわれる。「広さが有限で、それっきりしかない」という思考を理解してもらうために、この文の冒頭に不思議な屋敷の話をもってきたのである。

八つの部屋をもちだしたのは、立方体↓超立方体という順序で、内容を図から感覚的に判

断してもらいたかったからである。アインシュタイン流の宇宙観では、周囲の八部屋だけがあって、その中心になる四次元超立方体などというものはない。なぜなら、空間だけについていえば四次元などというものが、ありようはずがないからである。

冒頭の話では八つの部屋を考えたが、部屋の間の「まじきり」を全部とり除くことにする（ちなみにまじきりの数は全部で二四面になる。ひまな方は、四次元幾何学の問題として考えてみることをおすすめする）。最初の話では、たとえば№1から№2の部屋にいくとき、第四番目の方向（これがどういうものか、われわれの想像外である）に曲がることになる。しかし、宇宙全体を考えるとき、一部分だけが曲がっている、というのは不自然である。一つの部屋全体が、少しずつ曲がっていて、もはや部屋と部屋の境目などない。

八つの部屋全部を合わせた空間——これが宇宙になる——はものすごく広い。おそらく直径（この場合直径という言葉も、円や球と違って、まことにあいまいである）は、おそらく百数十億光年になろう。この宇宙空間は……自分がどこにいようとも、常に自分がまん中にいることになる。つまり、宇宙には端がない。端がないが、その大きさには限りがある。

このようなモデルを考えるためには、空間は（ほんのわずかずつではあるが）曲がっていなければならない。真空の空間が——もっとも、ところどころに天体とか星雲、星団がある

が——曲がっているとはどういうことなのか。

二次元（面）で考えるのがわかりやすい。そこに二本の平行線を引いたとき、その二本が永久に等間隔なら平面、いつのまにか離れたり、交わったりすれば曲面である。

空間では、平行に引く線を「光」が代用する。二本の平行光線が、永久にそのままなら空間はまっすぐ、いつのまにか離れたり、あるいはそっぽの方向にむかったりすれば、その空間は曲がっていると考える。宇宙空間を測る物指しは光（電波も含めて）である。いや、光以外に「基礎」とすべきものはないというのが正しい。

宇宙のあちこちに存在する天体（質量の存在）のために平行光線は意のままにならず、大局的にみると宇宙全体が大きく曲がる。宇宙空間全体を平均してみると、一立方センチ中の質量は、一グラムの一兆分の一のさらに一兆分の一よりも、もっと小さい。この密度が、ある大きさ以上なら宇宙は閉じた有限な形態（アインシュタイン式）をしているはずであり、密度が小さければ、逆に宇宙は底なし（あるいは天井なし、というべきか）に限りなく続く……と考えられている。

有限説は、たんなる一つの仮定であり、ことによると、反対の底なし式かもしれない。また一般相対論のすぐ後に、宇宙は膨張していることが明らかになった。このような諸説を考

えてみると、宇宙構造を説明することはますます至難のわざである。どの考え方をとっても、常識的な思考ではどうにもならない。宇宙有限説も奇妙だが、無限にのびているといわれても、無限のその先はどんなになっているのか、と聞きたくなる。

しかし……最もポピュラーな有限モデルを理解するには、奇妙な八つの部屋を考え、これを拡張理解していくのが、比較的スムーズに入っていける方法ではあるまいか。

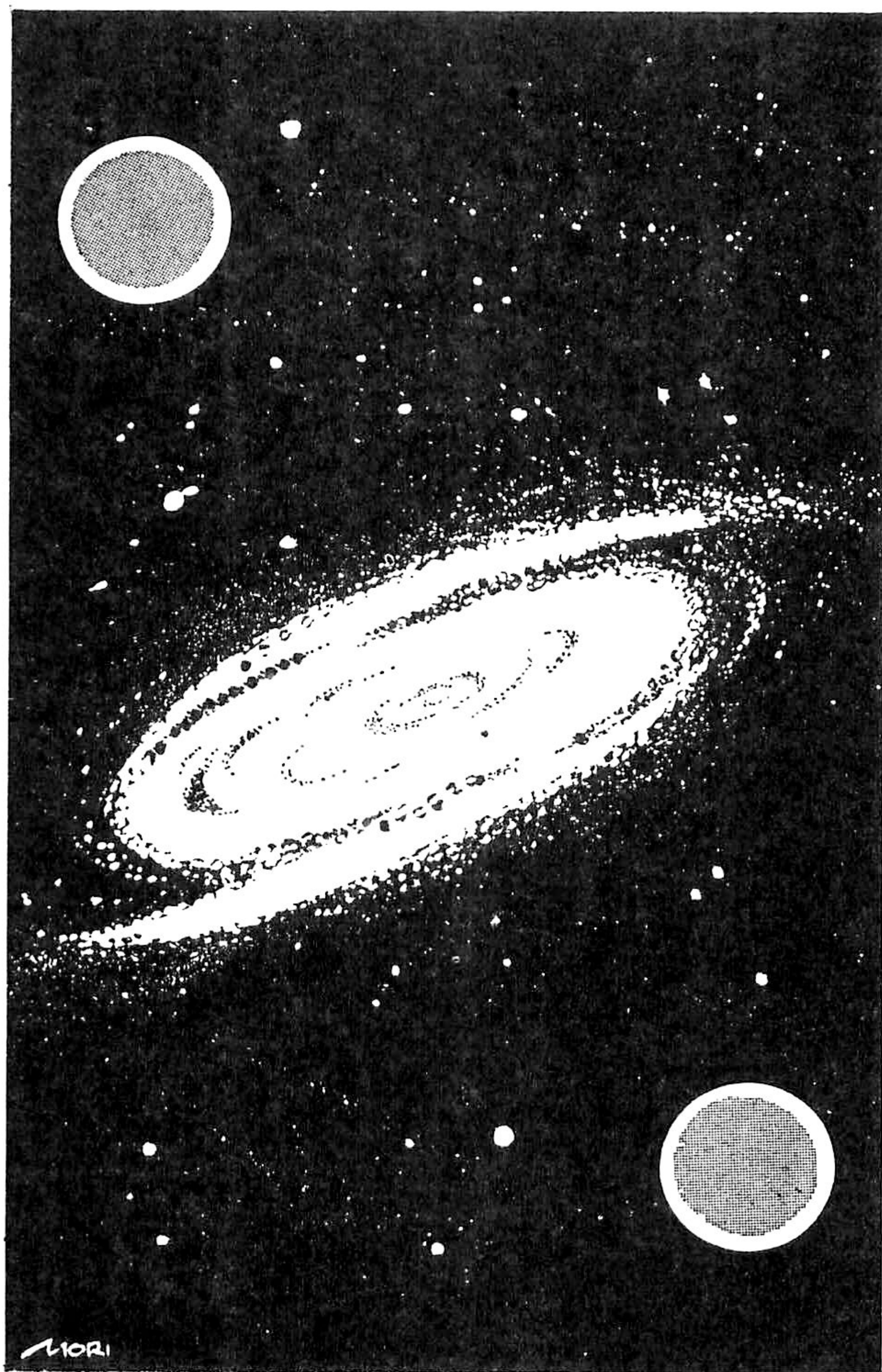
Ⅸ 鏡の国

MORI

宇宙飛行士の帰還？

アメリカ製SFテレビ映画に、こんな物語があった。地球から某惑星に宇宙船を飛ばすことが計画された。惑星までの無人飛行は今日でも実際に行われているから、話の設定は必ずしも非現実的なものではない。とにかく妙な惑星があるらしいということで、一飛行士は基地司令官に、その探検を命ぜられる。彼は基地に近いわが家で妻との別離を惜しみ、まもなく宇宙船はロケットを噴射して大空高く飛びあがる。

やがて宇宙船は太陽の近くまでやってくる。このとき飛行士は、機械の一部に故障のあることを発見する。ぼんやりテレビを見ていた私は、このへんの記憶はいささかあいまいだが、たぶん電気系統の配線が、プラスとマイナスが逆になっていたのではなかったか……とおもう。この地上整備員のミスに気づいた飛行士は、宇宙船内で独力で装置を直す。この間、地球との通信がしばらくとだえ、一時は飛行方向もわからなくなる。修理も終り、飛行方向も元にもどった（つもりであった）飛行士はなお飛び続け、まもなく天体X（エックス）を進行方向に発見する。故障を発見した時点が、地球出発とX星とのちょうど中間であった……とい

IX　鏡の国

うのが、この物語の伏線になっている。
X星に近づくと……海や空気があり、表面の一部分は雲に包まれていて、地球に酷似している。とにかくこれが目的の星だということで、岩石や砂地などの間に強引に不時着するがそのとき船体の一部を損傷してしまう。船外の空気も十分（つまり一気圧）であるし、酸素にもこと欠かない。飛行士はおそるおそる脱出すると、たちまち銃をかまえた「人間の」兵隊にかこまれ、連行される。何のことはない。彼は地球にもどってしまったのである。X星だと思ったのは実は地球であり、彼はゴビ砂漠の端のあたりに着陸したのであった。
こうして彼はアメリカに送還される。考えてみれば、途中の故障がいけなかった。通信不能の間に、宇宙船が百八十度向きを変えたのに気がつかなかった……と知ったのは連行される途中であり、送還後彼はアメリカでの懲罰委員会の席に立たされるのである。
この委員会で、彼は命令どおりにX星に向かって走ったことを主張した。ただ途中でのちょっとした事故のために、意に反して地球に帰り着くはめになったことを言い続けた。しかし委員会のメンバーたちの態度は冷たかった。飛行士が臆病なため、中途で任務を放棄して地球に舞いもどったと信じて疑わなかった。そうして彼らの疑いをはらす手段は、なに一つなかった。

ともあれ、いちおうは帰宅が許されてわが家に帰った。ドアを開いて部屋に入ると……何となく勝手が違う。といって、他人の部屋にまぎれ込んだわけではない。見覚えのある調度品ばかりである。とはいうものの……そうそう、こちら側にあったベッドが逆方向に置いてある。戸棚も位置が反対だ。いや、家具ばかりでなく、部屋そっくりが反対になっている。扉から入って、いつも左に曲がるはずの室内廊下が、右に曲がることになっている。置時計の文字盤はまともだ、と思いきや、それは室内鏡に映ったものだった。振り向いて本物の時計を見ると、左右がまったく逆である。3時の場所に9時があり、しかも数字はすべて反対になっている。

会議場や、人や家を見ているかぎり気づかなかったが、活字を見ればはっきりするだろう。室内を物色し、新聞を探しだした。そこに印刷された文字は……左右が全く逆であった。

地球の反対側にある星

これが物語の前半であり、このあたりまでは視聴者を煙にまいておく。話の筋は……やが

て真相を教えることになる。彼が不時着した星は、地球ではなくX星だったのである。そうしてこのX星というのは、地球とまったく同じ軌道を公転していた。公転速度はこれまた地球とまったく同じであり、いつも（地球から見て）太陽の反対側をまわっている。だから地球から観測しても、常に太陽のむこう側にあり、それまでどのような方法によっても発見することができなかった。地球上の人間は、自分と双生児のような惑星が、自分よりも半年ぶんぶん先んじて（あるいは半年ぶん遅れて）、同じ道を走っていることに気づかなかった、というわけである。

この正反対に位置するX星は、驚いたことに地球とそっくりであり（当然アメリカもアジアも、話の中にはでてこないが日本も存在することになる）、ただ左右だけがあべこべになっている。位置が反対だから左右も反対、というのがSF小説として最も奇抜なところである。物語の舞台は、その後X星上の事柄に終始し、彼の冤罪もはれる。つまりX星の人たちは、「彼」は反対側の地球からやってきた人物であり、X星から地球に飛ばした飛行士は（地球からX星に宇宙船を送り込んだのであるから、常に反対の状態にあるX星からも、同じようにX星から地球に飛行士が行ったはずである）、地球に到達したであろう……ということで納得する。

「彼」は地球にもどりたいと熱望する。宇宙船の修理をする……が、どうしてもエンジンが始動しない。あれこれ考えた末、はたと思い当たる。このX星ではすべてが反対である。電気回路の修理も地球と同じ要領で考えていたが、ここではプラス（陽極）とマイナス（陰極）とを逆にすべきではないか。まさにそのとおりだったが、完成寸前に宇宙船をこわしてしまう。こうして彼は、永久にX星に住むことになる。

最後の方は、あるいは私の記憶に誤りがあったかもしれないが、とにかく話の骨子は以上のようなものであった。もちろん物語だから、話の中には対人関係のトラブルや、妻への愛情などがうまく盛り込まれているが、その根底に「対称」という考え方の徹底しているのが、私にはきわめて興味ぶかく感じられた。

SFを、あまりこまかな科学的立場から分析するのは野暮というものだが、この話を土台にして対称について考えてみよう。

地球のちょうど反対側にいま一つの惑星がある……というのは、斬新な発想でありしかも大変わかりやすい。いつも地球と「かくれんぼ」をしていて、永久に見つかることはない。公転半径が地球と同じなら公転周期も同じであり、ケプラーの法則に矛盾しない（ということは、もしX星の公転軌道が、少しでも地球のそれよりも大きかったり小さかったりするな

らば、X星のひと回りは決して三六五日にはならない――したがって永久のかくれんぼは力学的に不可能である)。

しかし……このかくれんぼは非現実である。というのは、地球の公転軌道は正しい円ではなく、太陽を焦点とする楕円形をしているからである。X星の軌道が、円であれ楕円であれ、いつかは地球から見えてしまうことになる。

百歩譲って、地球が正確な円軌道を回り、X星が反対側を走っていても、地球上での計算は、向こう側に地球と同程度の質量が存在することをはじきだしてしまう。惑星は、太陽との間の万有引力を求心力として円運動(正しくは楕円運動)をしているが、詳細に調べてみると、惑星と惑星との間にもわずかばかりの万有引力があり、この引力のために軌道が多少補正されるのである。土星の外側の天王星は一七八一年にハーシェルによって発見されたが、その運行の不自然さから、力学的な計算によりさらにその外側に惑星があるに違いないということになり、一八四六年に海王星が発見されるに至った。一番外側の冥王星は質量も小さく、他の惑星に及ぼす力学的効果も僅少であったため、発見はずっと後の一九三〇年である。

とにかくこのようなわけで、「太陽の向こう側にあるため、地球人はそれを知らない」と

いう話は、一見きわめて受け入れやすい内容であるが、天文学者の手にかかったらたちまち見破られてしまうのである。

鏡の中の世界

「むこう側にある星」の話はこれくらいにして、左右が逆というのはどうだろうか。もちろん現実の話として（たとえ左右が反対だとしても）地球とそっくり――大陸も国も家も、さらに個人までも――などというものは考えられない……が、話としては大変おもしろい。おもしろいが……左右が反対というのはどういうことをいうのか。簡単に反対といっても、その意味するところは意外とややこしい。

最も端的にいえば、鏡の中の世界のことであろう。鏡に映る像という話になると、「鏡に映った自分の姿は、左右は逆だが上下は逆になっていない。左右方向も上下方向もともに鏡の面に対して平行ではないか。この二つの方向に理屈の上で優劣をつける理由はないはずだ。にもかかわらず、左右だけが反対なのはなぜか」

この問題はときおり、物理学者や数学者などが随筆の中で述べているが、問いに直接に答

えるまえに「鏡の中の世界」というものを考えてみよう。

絵画、写真、テレビのブラウン管、映画のスクリーンなどでは、さまざまな風物を見せてくれるが、これらはあくまでも一つの面に描かれた(あるいは映しだされた)ものにすぎない。要するに奥ゆきのない面、つまり二次元である。絵の場合などは巧みに陰影をつけたり、遠方のものをことさら小さく描いたりして遠近感をだそうとする。写真では焦点深度を浅くすることにより、奥ゆきの感じがでてくる。事実、人間の目はカメラのレンズと同じであり、近くのものをはっきり見るときには遠影はぼやけ、逆に遠影に合うように水晶体(目の中にあって、レンズの役目をするもの)の厚みを調節すると、すぐそばにあるものは、はっきりとしない。あるいは人間の両眼が少し離れていることを利用して、二枚の写真を合成したり、さらにはレーザーという特別な光を用いて遠近を示す装置もあるが、面(二次元)はしょせん面にすぎない。

これに反して鏡の中の世界は三次元、つまり立体なのである。だって鏡のガラス(正しくいえば、ぬってある水銀)は単なる面ではないか、といわれるかもしれないが、光は水銀面で正しく反射してくるため、自分の背後の景色はそのまま鏡のむこう側に奥ゆきをつくることになる(これに反して写真や映画のスクリーンからは乱反射した光がくる)。映画の場合に

はいつも一定距離に視線を合わせていればいいが、鏡をのぞくときには――自分の顔だけを見るなら話は別だが――、ふつうの景色を見るときと同じように無意識のうちに水晶体の厚みを調節しているのである。

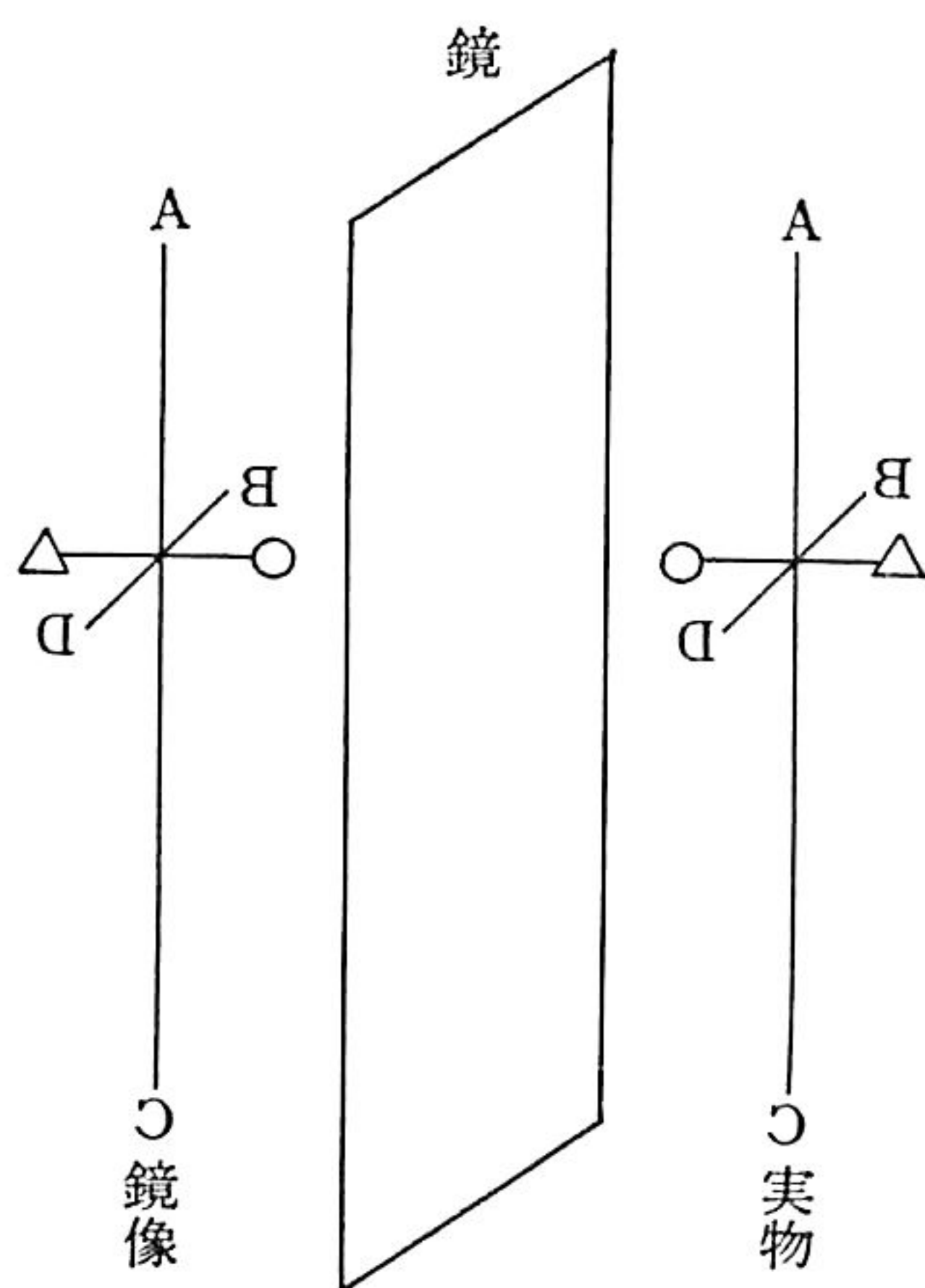
上下はなぜ逆にならないか

鏡の中の世界は、このように立体的なものであることを心得ていなければならない。そうしてこの鏡像の世界は実世界を反射面（水銀をぬった面）で折り返したものである。もっとも「折り返す」という言葉は、紙に描いた絵を一本の線で折った場合をいうが、立体の場合は他に適当な言葉がないので、同じように折りかえすといったまでである。数学的には、線で折り返して得られる双方の図を互いに線対称、立体では面対称とよぶ。要するに鏡の中の世界は、実世界に対して面対称の関係にある。

面対称の世界は、小学校の算数でならう点対称や線対称にくらべて、はるかにわかりにくく、誤解も生じやすい。後者は紙に描くことにより簡単に理解できるが、面対称の方は実物も鏡像も三次元であるため、調べなければならない材料がずっと多いからである。例とし

て、鏡の前に（鏡の面と平行に）十字架を立てて、その上部にA、下部にC、北側にB、南側にDの字をつけてみよう。ただし、鏡の方から実物を見たとき、BやCがまともになるようにしてみた。実物と、その面対称である鏡像とは図10のようになるはずである。図では、実物を後方（鏡と反対の方向）から見ているから、A以外のB、C、Dは当然逆（裏側からみた形）になる。そうして鏡像の方も実物と同じように見える。かりに自分が鏡の中の世界に入り込むことができたとして、像の後ろ側（鏡よりも遠い位置）に立ったら、鏡像も実物も、A、B、C、Dはまともな字になる。

さらに重要なのは、実物のAの場所（つまり上側）に鏡像のAが、北側にはどちらもBが……あるという事実である。この意味で、AC方向（上下の方向）とBD方向（左右の方向）とに優劣をつける理由はまったくない。われわれの視点をずっと遠い所においたとき——換言すれば実物と鏡像とをともに「客観視」するとき——実物も鏡像も同じものになる。

とはいうものの、われわれが鏡をのぞくとき、それほど客観的になれない。ふつうには鏡と実物との間に（自分の目が）入り込むため、実物と鏡像とがくい違って見える。互に上下が正しいなら、その方向に対して左右は逆向き、もし左右を正しいと考えるなら左右の方向

に対する上下の向きは反対だということになる。そのへんのところがどうも納得できないという人は、図10で、Dが頭、Bが足だと考えて頂きたい。実物も鏡像も、頭は線の上に山型に曲がったカーブが乗っている（つまりDを横にした形）。足は、線の上に二つの山が乗っており、実物と鏡の中の人物とは全く同じになる。ただし実物のAは右手だが、鏡像の右手はCになる。

　このように、純粋な幾何学的な立場からは、上下も左右も同等だが、それにもかかわらず鏡を見たとき、左右だけが反対だと感じるのは、われわれの住んでいる空間には上下の方向に重力が働いていることと、人間もしくは身辺の道具類には左右対称のものが多い（上下に対称のものは少ない）という二つの要素が主な原因になっているためではあるまいか。この二つの理由のために、自分と鏡の中の人間は、上下の方向は一致している、ときめてしまう。左右の方向は「その後」に考えられることになり、左右だけ

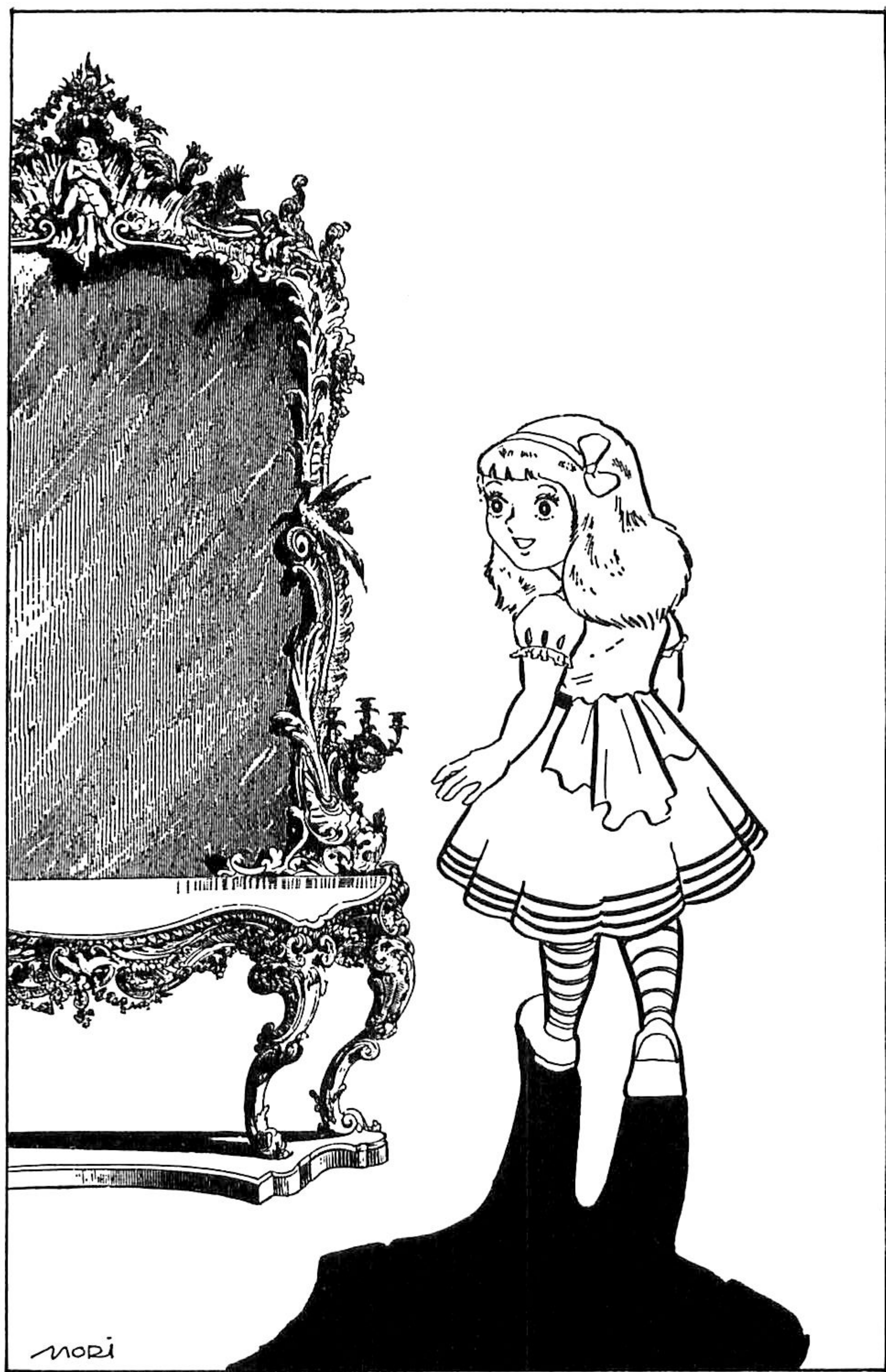
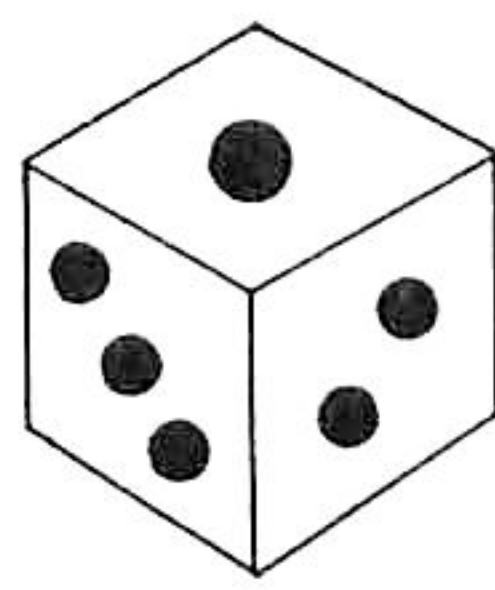
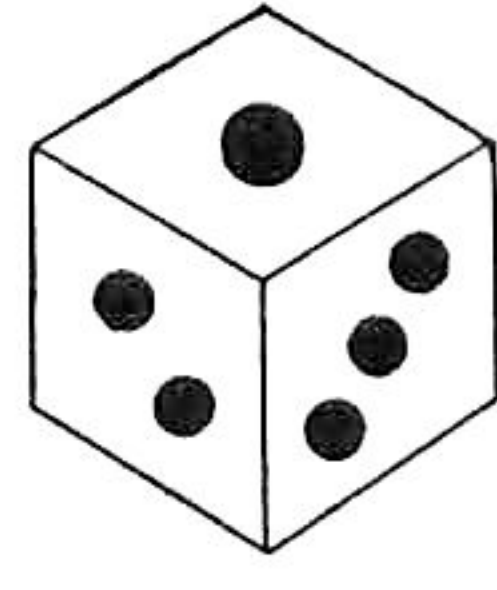
10　鏡に映る像

が逆だと結論することになる。

P変換の世界

鏡の中の話はこれで終りにするわけにはいかない。立体だから、AC方向とBD方向のほかに、両者に垂直な第三番目の方向（鏡の面に垂直な方向）も問題になる。ふつう鏡を見るとき、上下や左右は気にかけるが、前後に意を注ぐことは少ない。実は……この前後こそ反対になっているのである。図で、マルと三角とがそのことを示している。

面対称の二つの立体は、鏡の面に垂直な方向だけが反対向きになっているのである。だから鏡に向かったとき「頭はどちらも上、右手はどちらも北、ただ顔の向きだけが、自分は西を向いているのに、相手は東を向いている」と答えるのがもっとも正しい。

鏡の中の世界へ、ノーマルな人間が一人だけ入っていったらどうなるだろう。家屋、樹木、田園、山地など左右が逆になっていてもそれほど不思議に感じない。ただ車の運転席や交通状態などは違うが、X星へ来た地球人間である飛行士は、委員会などに喚問されていささか頭にきていたために、深夜の道を走って見馴れたわが家に入るまでは、そこが地球だと

ばかり思い込んでいた。

サッカー、バレーボール、ボクシング、ピンポン、角力などの競技を見ても、（左ききの選手が多い、と気づくかもしれないが）鏡の中の世界でも同様にゲームは進行する。元来競技というものは、「対等に」攻め合い、守り合うものだからである。スポーツで、対称性をまったく破っているものは（よく知られたものでは）野球である。一方は攻めるだけ、他方は守るだけという、こんな試合も珍しい。もちろんX星で地球人が野球見物に行けば、これはおかしい、と思う。「彼」には、打者は三塁へ走っていくとしか考えられない。話は少しそれるが、サイコロにも立体的に違う二種類があるのをご存知だろうか。1の反対側は6、2の反対側は5……などの規則を守っても、図11のAとBとは別のタイプである。一般にはA型のものが多いが、もしたくさんのA型の中に一つだけB型をまぜ、よくかきまぜても、B型を探しだすことは可能である（みつけるのに、ずいぶん苦心はするだろうが……）。A型とB型との違いは、同質異像などとよび、特に化学の分子構造や、生物の形態（特にその内部、細胞、分子のレベルで）の問題などで重要視される。

A型　B型

11　2種類のサイコロ

さて物理の世界では、この対称性はどうなっているか。たとえば北に走る物体があるとする。これを南北方向に立てた鏡に映せば、やはり北に走っている。水平に置かれた鏡の中の像も北に走る。東西に立てた鏡（つまり進行方向に直角な鏡）の場合だけ、鏡像は南に走ることになる。このように鏡の位置によって、向き（これをベクトルという）が変わったり変わらなかったりするのは……大いにまずい。普遍性がない。そこでおもいきって、この三つの（互いに直角な）鏡で三回像を映す(むしろ移すといった方がふさわしい)。このことを空間反転、専門語でP変換とよぶ。P変換をしたら物理――特に極微の粒子である素粒子――の世界はどうなるかが、物理学者の関心の的であった。速度などは向きを変える。コマのように回転しているものは（この回転のことをスピンとよぶ）二度チェインジするから、回転の向きは実物と同じである。とにかく、同じであれ、逆向きであれ、空間反転の世界ではそれなりに物理法則は矛盾なく成立する……と、かたく、かたく信じられてきた。これをパリティー保存則という。

ところが一九五六年に、中国の（在アメリカ）物理学者T・D・リーとC・N・ヤンは、ミューという粒子の崩壊をくわしく研究した結果、空間反転の世界では物理現象が、現実と少し違っているといいだし、物理学会は大さわぎになった。そうして彼らの理論は、同じく

中国人女史ウーによって実証されたのである。結局、粒子の自転と進行とを併せて考えるとき、空間の三つの方向をすべて逆転した場合には、別の事柄が起こる……ということが判明したのである。リーとヤンはこの功績により、一九五七年にノーベル賞を授けられた。

ときおり解説書に、P変換を絵解きするのに、一枚の鏡に映った像が描かれているが、これは正確ではない。空間反転（P変換）とは三回反射なのである。さきのSFで、飛行士の行ったX星は、一枚の鏡による鏡像の世界か、それともP変換の世界か……この物語の作者はそこまでは考えていないようである。

X 確率

道路に車影の消える日

私の友人が——車の運転歴十数年という男だが——ある日、急におもいたって、車をやめることにした。最初の頃は、運転免許証もとり、なけなしの金をはたいてあこがれの新車を手に入れたという嬉しさで、毎日の運転通勤が楽しかった。てくてく歩く同僚がバカのようにみえた。いつのまにかそれが習慣になり、出勤は車で、の感覚が身についてしまったが、ある日何とはなしに「車をやめてみよう」と考えたのである。なぜおもいたったのかと問われても、さしたる理由はない。電車に乗っても通勤は十分に可能である。電車にきりかえるという発想法が、その日まで、ついぞわかなかったというにすぎない。

別の知人も、車をやめた。彼の家から最寄りの私鉄駅まではかなりの道程であったが、考えてみればこの道はサイクリングに最適なのである。なぜそのことに今まで気づかなかったろう、とある日急におもいたったのである。通勤の足は、車のかわりに、自転車と電車になった。

以上は実話であり、べつにおもしろくもおかしくもない話である。ということは、二人が

車をやめたということは、不思議な事柄でもなければ、奇妙な内容ともいえない。そんなこともあり得るだろう、と考えるのが一般的通念である。

ここで重要なのは、二人が運転をやめた動機に、決して積極的な根拠があるわけではなかった、ということである。ガソリン代の大幅な値上げとか、道路交通規制が急にやかましくなった、というわけではない。ただ……何となくやめたのである。

一郎と二郎とが車の運転をやめた……ということは三郎も四郎もやめても、おかしくないことになる。十郎という特定の人間がやめた、という事実にクレームをつける筋合いはない。こういうわけで、ある日みなが「車をやめよう」と決心すると、日本全国では主要道路に営業車だけが走っていることになる。いや、営業車のオーナーも、緊急必要なもの以外は他の方法をこうじようと考えたとすると、まさに道路はスキスキになってしまう。

高速道路に怪物が出現すればこれは奇怪物語だが、ある日突然道路上の自動車が大減少すれば、まさしく超常現象である。しかしこの超常現象は、普通の意味での突飛さと、突飛の質が違う。

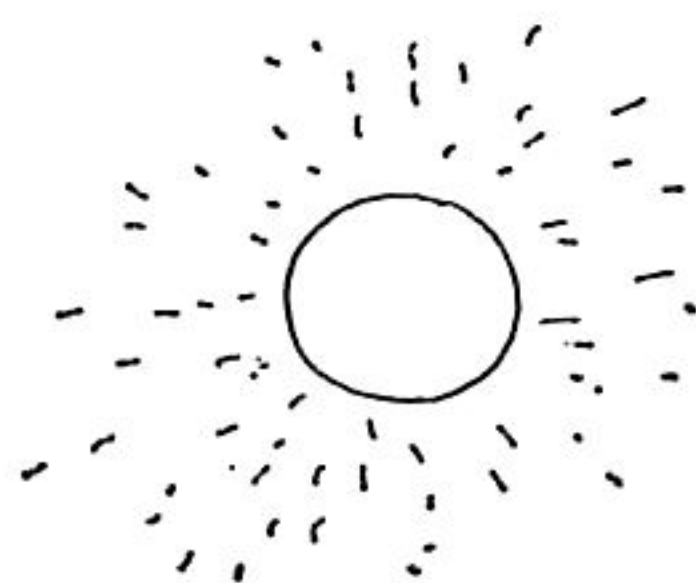
怪物出現は、初めからありそうにない……もしあったとしたら、一匹だけでもきわめてア

ブノーマルな話になる。ところが自家用車の方は、話の筋を初めから静かに考えてみると、最初はまことに正常なのである。むしろ当然すぎるくらい当然な内容でしかない。この当然が、いつのまにか常識を越える異常物語に変化していく。

受験生をかかえた家庭では、テレビを押し入れにしまった母親がいる。考えてみれば二〇年まえは、それで通ってきた。テレビがなくても生きていかれる。歌手が唄い、タレントがゲームにふざけるのを見なくても、いっこうに差し支えない。テレビは、茶の間に侵入してくる暴力だ、とA家でもB家でもC家でも……たまたま考えたとする。各家庭が、たまたまそろってそう判断すると、NHKは解体し、民放はつぶれる。

大学を出たとて、なにになるだろう。鮨をにぎるにも、材木にカンナをかけるにも、大学は必要ではない。セールスの方法も、事務のとり方も、管理のテクニックも、現場でおぼえた方がはやい。若い四年間を、これといった目的もなくいたずらに大学に通うよりも、もっと別の場所に意義ある生活があるのではなかろうか……と一人、二人、三人、いやいやたまたま全高校生が考えたとする。その結果、大学受験生は零、あわを食うのは大学と予備校である。

もちろん多くの高校生の中には、心から大学無用論を考えている者もあろう。その見解は

X 確率

十分に肯定されるものがある。A君がそう考え、B君がそう信じても少しも不思議はない。ところが……受験者数零などということは、都会の道路が閑散とし、各家庭からいっせいにテレビが追放されるのと同じように、「白昼夢」に等しい。個人々々の考え方はまっとうだが、全体となるとまるっきり違った結果になる……各論と総論とは一致しないことの代表例である。

強制力と確率

自動車、テレビ、大学無用論が評価されても、なぜ現実はそのようにはならないのか。一口で答えるならば、世の中には人間が非常に大勢いるからである。人間は、おのおのが自分の頭脳で考える自由をもっている。一億の頭脳があれば、一億の思考が存在するといっていい。そうして現実に起こる現象はそれらの総合、あるいは平均である。個体はまざり合い乱れ合って独特の結果がかもしだされ、表面に押し出されたこの結果の中に個性は埋没してしまう。

ただ、ここで注意しなくてはならないことは、多数の人間の集団に対して、何がしかの強制力のないときにかぎり、最大公約数に近い現象が起こるということである。たとえば強力

な独裁者が現われて「テレビを見る者は死刑に処す」ということになれば、各家庭のテレビはいっせいに物置に放り込まれるかもしれない。独裁者などというものがすでにアナクロニズムだというのなら（事実は、必ずしもそうではないようだが……）、別の例でもいい。為政者の政策（あるいは性格）とはまったく無関係に、資源的な理由で車のガソリン代がいっきょに百倍になったとしてみよう。道路を走る自動車は激減する。独裁者の場合には、「人民の上にのしかかった力」という言葉がそのまま当てはまるが、ガソリン代値上げも広い意味で「車の所有者に作用する（経済的な）力」である。大勢の人たちの上に、特定の力（政治的なもの、あるいは経済的、心理的などあらゆる要素を含めて）が働くとき、人々の（広義の）行動は「一定方向」に動くが、そうした特殊要因のないかぎり、突如として日本の道路から車が消えたり、東京駅十時発の「ひかり号」が全車両空席だったりすることは起こり得ない（と確信していい）。

千人のうち、一人が車をやめても、他の九百九十人は「同時期」に、その気にはならない……と考えるのが普通である。絶対にならない、と言っているのではない。たまたま全員が、同時に同一思想をもち、それを実行に移す、などという「確率」は、きわめて、きわめて小さいのである。十時発の「ひかり」に乗車する人がなかった……ということも理屈の上

ではあり得ないわけではない。しかしそのような「確率」も、万に一つ、いや兆に一つもない。事故もなく、全く普通の条件で、昼間の「ひかり」が乗客零だったなどという話は聞いたことがない。早朝とか深夜(あるいは酷寒など)なら、話は別である。これは乗客に「乗りにくい」という力が働いていることになる。外的条件なしで諸現象に注目したとき、常に「大きな確率」の事柄だけが起こっている。

なぜ人間は窒息しない

以上のような確率的な事象は、自然科学ではきわめて重要視される。自然現象では、実験、観測をしてみると、確率(小学校の算数では「確からしさ」という)のきわだって大きい事柄だけが起こっているのである。確率の計算は、単なる数学的な思考研究の対象にとどまっているわけではない。科学の(自然、社会、ときには人文をも含めて)中に強く根をおろした事実なのである。

物理や化学などでは、一つ一つの個体に相当するものは分子(主として気体や液体の場合)や原子(固体)、ときには原子から離れて金属などの中を移動する電子が問題になる。

たとえば角砂糖よりも小さい一立方センチメートルを問題にすると、固体や液体ではその中に分子（または原子）の数がおおよそ一〇の二二乗個、つまり一兆のさらに一〇〇億倍程度入っている。気体では分子の数はそれの千分の一ほどになるが、それでも一兆の一〇〇〇万倍にもおよぶ。これらの数はもちろん全世界の人口よりも桁違いに大きい。個体の数が多ければ多いほど、総体的な現象だけが現われてきて、一つ一つの個性的なふるまいなど問題でなくなってしまう。

たとえば部屋の中の空気分子を考えてみる。その七八パーセントが窒素分子、二一パーセントが酸素分子、その他わずかのアルゴン、二酸化炭素、水素などがあるが、これらはほどよく入りまじっている。そうして、分子同士はしきりに衝突しながら走りまわる。個々の分子をみれば、速いものもあれば、遅いものもあるが、われわれはその平均値（正確にいうと運動エネルギーの平均値）しか感覚しない。

分子の速さは後まわしにして、その位置を考えてみよう。気体分子は「おまえは必ずどこその場所にいて、行動半径は五センチ以内に限定する」などという指示は受けていない。どこに行こうと分子の自由である。意志をもたぬものに自由などという言葉はおかしいというのなら、分子は全く無作為に行動する……と表現するのが正しい。無作為だから、たまた

まこぶし大の空間の中に一個の分子も存在しない……ということも、あるかもしれない。つまり空間の一部分が突然に真空状態になるわけである。
こんなことになったら一大事である。かりにわれわれの鼻のすぐまえの空間が真空になったら――いや、真空でなくてもいい。たまたまその部分が窒素分子だけになり、酸素分子が少しもまざっていなかったら――、そんな状態が数分続いたら、人間は文字どおり窒息してしまう。
その可能性は決して零ではないが、酸素分子が鼻先に居合わせなかったばかりに息断えた……などという話は聞いたことがない。
SF小説というものは、科学的根拠をもとにして、実際に起こり得る可能性は少ないが、もし起こったらこのようなすごいことになるぞと説くのが常套手段である。ということであれば、酸素と窒素の混合比が理由もなしに破れて人が死ぬ……というような話があってもいいはずだが、こんなSFにはおめにかかったことがない。
地球のすぐそばを、他の天体が通り抜ける。このとき走り去る天体の重力のために地球上の空気はもち去られる、そうして地球上の人間はバタバタと窒息死する……というような話ならいくらでもある。こちらのフィクションの方には必然性があり、読者を十分に納得させ

うる、ということだろうが、「確率」を考えたとき、はたしてどちらの話の方が確からしいだろうか。いささか疑問である。

確かに空気の一部分に酸素分子が混入していないなどということは、きわめてきわめてまれなことであるが、広い宇宙空間で二つの天体が衝突もしくはそれに近い接近をすることもほとんど起こり得ないことである。

「ありそうにない」という意味では、この二つの話はどっこいどっこいだが、それにもかかわらず酸素分子欠乏の話の方が少しもおもしろくないのは、あまりにも「確率」という考え方がむきだしに顔をだしているせいではなかろうか。確率一点張りでSF話を続けても、読者はのってきてくれない。街から車が消える話も、みんながテレビを捨てる物語も、「ある日ふと、誰しもがそう考えた」というのでは、理由になってくれないのである。推理小説はもちろんのこと、SFでも、絵解きに必然性がなかったら、読者は納得しない。

そこへいくと、地球と他の天体との衝突の方は、衝突はきわめて起こりにくいという事実は話の隅に隠れてしまって、衝突時における地球上の混乱ぶりがクローズアップされる。この混乱は必然である。天体の接近はジェット機のニアミスとはわけが違う。二機のジェット機の場合には触れなければまず大丈夫だろうが、質量の大きい天体ではそうはいかない。大

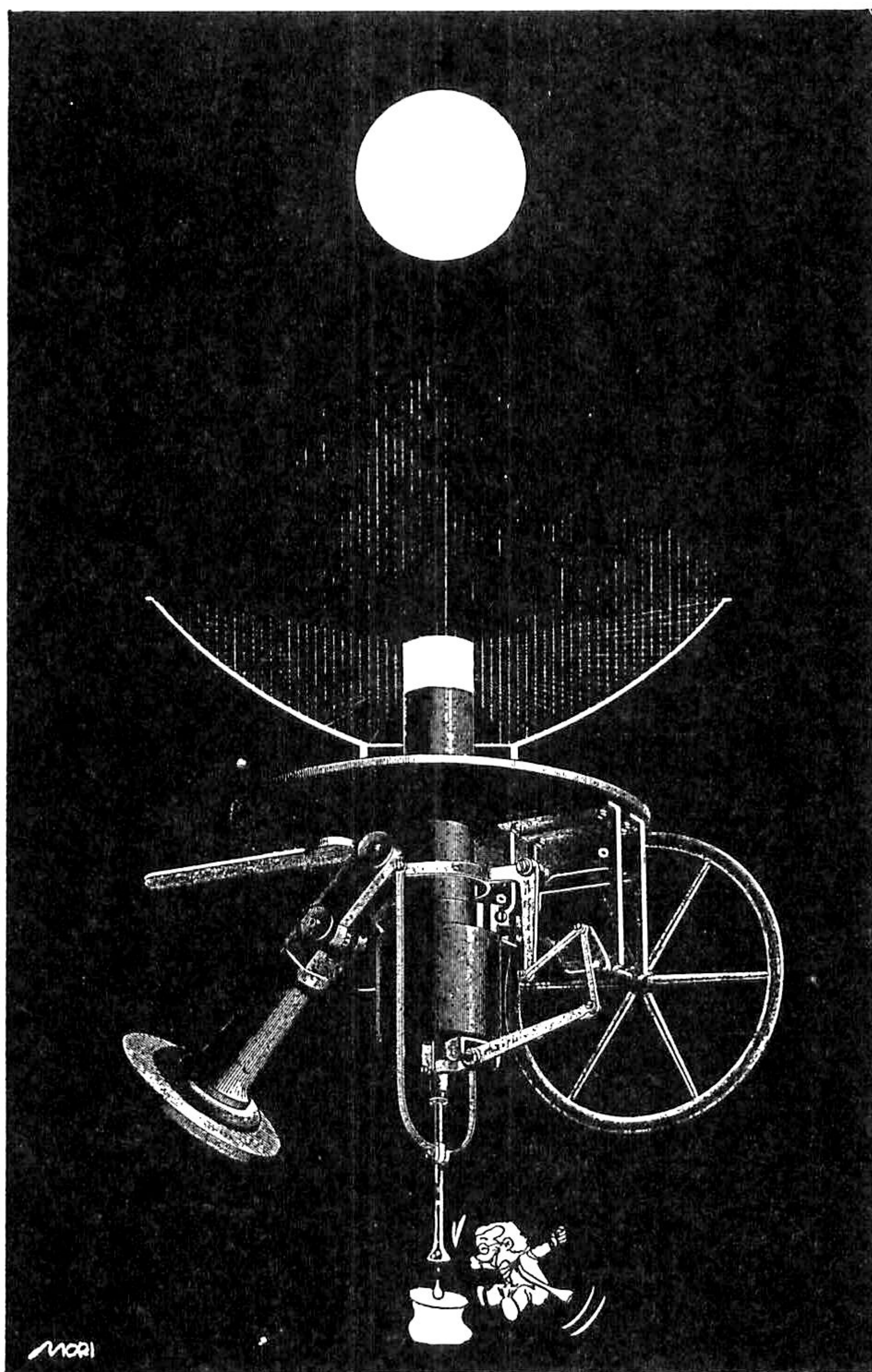
きな万有引力のために、地球表面の海水や大気は大変調をきたす。それがまた、映画などの「みせば」にもなる。

エネルギーの質

再び話を、分子の混合にもどそう。気体では分子が平均的な意味で、速く走っているほど温度が高く、遅いほど温度が低い。液体や固体では分子または原子は、他の粒子にまわりをとり囲まれているために直進できない。きゅうくつなおもいをして振動することになる。しかしこの場合も、熱いものほど振動は激しく、冷たい物質は振動が鈍い。

十九世紀までに、温度についての物理学は（物理学だけでなく科学一般において）大いに発達した。発達はしたが、現象論の域を出なかった。つまり……（分子、原子の概念ぬきで）物質の中に「熱」というものが入っていると温度は高くなり、熱が逃げると温度はさがる……と考えて、立派に帳尻を合わせたのである。

ただし熱は、エネルギーの一形態であることは、はっきりしていた。物体が高い場所にあること（位置エネルギー）、物体が速く走っていること（運動エネルギー）、その他、音、

X 確 率

光、電気などと同様に科学的な価値（つまりエネルギー）の一種である。そうして、エネルギーは姿かたちこそ変えるが、その値は常に一定である……というのが、自然科学の大前提になっている。その変化の様子を調べるのが、物理学の重要な研究テーマの一つである。

一例をあげれば、太陽からの放射エネルギーをもらって、海面その他から水は蒸発して高空に達して雲になり（放射エネルギーが、水蒸気分子の位置エネルギーに変わったことになる）、雨となって山の貯水場にたまり、管を通って大きな運動エネルギーになり、これが発電機を強引にまわすことになる。ここで電気エネルギーに変化して、高圧線を利用して、エネルギーの需用の多い都会に運ばれる。電気というのは、大エネルギーの輸送にもっとも便利な形態である。電気エネルギーは、光、熱などどんなかたちにも変えられるが、現在ではモーターを使って再び運動エネルギーに直す場合が量的にはもっとも多いだろう。こうして工場の機械は動き、電車は走る。人間はこの運動エネルギーを利用して、目的を達成する。

目的を達成した人間の方は、それでおしまい……で話は終るが、エネルギーの方はどうなってしまうのか。エレベーターやケーブルカーでの上昇、のように人間や荷物が位置エネルギーをもらう場合もあるが、多くは機械の軸受けやブレーキなどの部分の摩擦、あるいは電車と空気との間の抵抗などによって、熱エネルギーに変わってしまう。この熱エネルギーの

ほとんどは……捨てる以外に使いみちがない。

このように考えてくると、各種のエネルギーは一見対等であるように思われるが、実際には大違い……つまり質的に「いいエネルギー」と「使いみちのない無用なエネルギー」とがあることがわかる。熱エネルギーは、もっとも質の悪いエネルギーである。このことは、分子、原子の発見される以前から調べられており、エネルギーの質が悪くなっていくほど「エントロピーは増大する」とよび、量的にも正確に規定されていたのである。エントロピーという言葉は、二十世紀に入ってから分子、原子の乱雑な動きと関係づけられ、多数の粒子があるとき総体的には平均化の方向に進む……という現象を意味することがはっきりしてきたために、物理学だけでなく他の分野でもしきりに使われるようになったが、もとをただせば、一八六五年にドイツの理論物理学者クラウジウス（一八二二〜一八八八）によって、熱力学の研究のために名づけられたものである。ちなみに、トロピーというのは、ギリシア語で「変化」を意味する言葉だという。

なぜ熱エネルギーは質が悪いのか、そのことと確率論との間にはどんな関係があるのか、簡単な例でいうと、つぎのようになる。

確率とエネルギー

高い場所に物体があるとする。これは位置エネルギーをもっている。支えをはずせば落ちる。位置エネルギーは運動エネルギーに変わる。床に落下してどすん。このとき床および物体は、わずかに熱くなるのである。手でさわったくらいではわからないが、精密な測定をしてやれば最初の位置エネルギーは（一部は音のエネルギーにもなるが）そのまま熱エネルギーに変化している。

もし「エネルギーの量は変わらない」という事柄だけにこだわれば、この反対の現象が起こってもいいはずである。床の上に置かれた物体が、周囲から熱エネルギーを奪ってそれを運動エネルギーに変え、ぴょんととびあがる……。しかし、そんな話は見たことも聞いたこともない。結局熱エネルギーは運動エネルギーになり得ない。なぜか。

落下の途中では、物体を構成する原子は「そろって」真下に走っている。それがひとたび熱エネルギーに変わると——熱エネルギーとて、個々の原子についていえば運動エネルギーであることにかわりはないが——てんで勝手に、バラバラの方向に運動しているのである。

このバラバラが熱エネルギーの特徴であり、全体的にみたとき「質が悪い」といわれるゆえんである。

かりに床を構成する原子全部が（もちろん個数でいえば、一兆のさらに一兆倍もあろう）、たまたまある瞬間に、みんなそろって上向きに振動すれば、おそらく物体はその力でとびあがるに違いない。しかし残念ながらそのような偶然は、街から自動車が消え、各家庭からテレビが追放されること以上に、望めないことである。そうしてエントロピーという量は、全体がそろっているとき小さく、バラバラのとき大きくなるように規定されているのである。「ワットは熱を仕事に変えたではないか」といわれるかもしれない。しかし……ちょっと待っていただきたい。このへんが熱学のややこしいところである。熱はダメだと言い続けてきたが、これはあくまですべてが同じ温度の場合のときであり、温度差があればそのことを利用してピストンを動かすことは可能である。

だがその代償として、温度差はある程度埋まってしまう。ふつうは石炭や石油をたいて高温度の気体をつくり、機械を動かす。高温を保ち続けるためには、常に燃料を補給していなければならない。

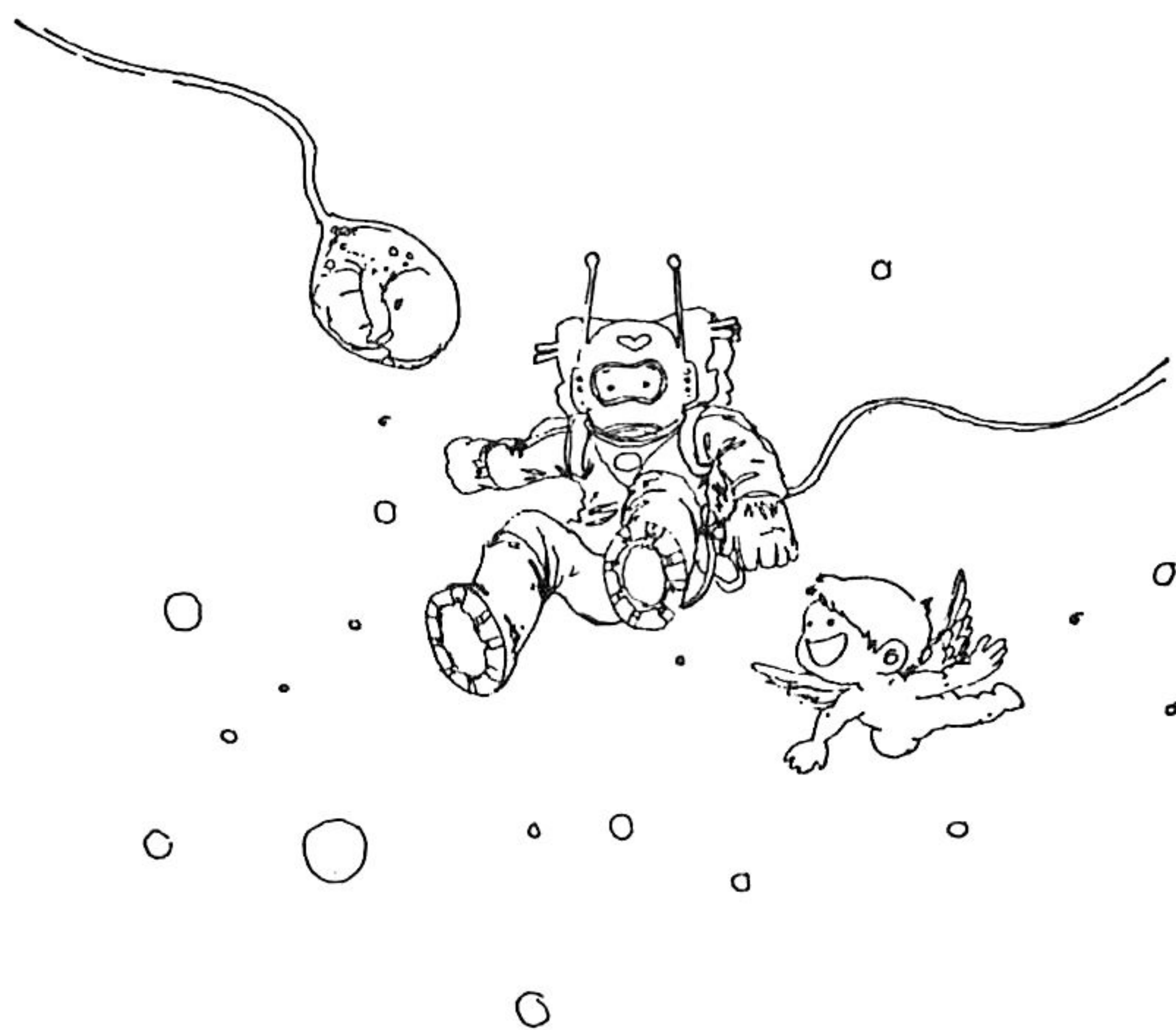
温度差がある場合は、温度が平均化しているときよりもエントロピーが小さいと規定す

る。熱の場合だけでも、このようにエントロピーは複雑である。温度差があるということは、速い分子と遅い分子とが分離されている状態であり、その反対に平均化されてエントロピーが大きいとは、分子が入りまじった状態をいう。放置しておけば分子は自然にまざり合い、温度は平均化し、したがってエントロピーは増す。

熱機関は、熱エネルギーを利用して機械を動かす、と考えるのがふつうだが、小さなエントロピーを使って機械を動かしている、というのも解釈の一つである。もしわれわれが大気温度よりも低い温度をつくり続ければ、やはりピストンは動くことになる。要は温度差をつくればいい。しかし高温をつくるには燃料をたけばいいが、低温技術は面倒である。だから冷却によって動く機械など実用にならない。

低温技術は、実用としてはクーラーとしてのみ用いられているのが現状である。部屋なり冷蔵庫なりを冷やすということは、その部分の熱エネルギーを捨てることを意味するが、捨てるのに電気などが必要(さきに述べた「強制力」が必要)とは、考えてみれば因果な話である。

XI

宇宙の裏側

両面使えるネクタイ

ネクタイは、バーゲンセールでは五百円程度で売られているが、デパートのケースの中に並んでいるものは四、五千円前後のものが多い。これがパリの一流メーカーものとなると――たとえばランバンとかドミニクフランスとか――、お値段もぐんと張って、二万円前後はする。一体誰がこんな高価なネクタイをぶらさげるのだろうと思っていると、上には上があるもので、三万円もするものが市販されている。日本製の絞り染めの高級品や、イタリアのミラションがこれに該当する。

ところで、このミラションのネクタイだが、表も裏も両面とも使えるという、いささか珍しい品ものである。ほとんどが無地で、一見したところさほど見ばえはしないが、表の色に飽きたら裏を使えということか、とにかく一つで二つぶんの機能をもっていることになる。だからハンドメイクになり値段も高くなるのだろうが、どちら側が表でどちら側が裏だと断定しにくい妙なネクタイである。

男もの、女ものを問わず、上着にも同様なものがある。裏がえしにするとパッと色が変わ

るから、他人には二着に見える。左右の対称性を考慮して、ふつうは正面をジッパーでとめるようにできている。人を尾行する探偵などにうってつけだといわれるが、そのような用途に使われているかどうかは知らない。

とにかく一つの面があるとき、平面にしろ曲面にしろ当然「両側」が存在するわけだが、その両側が同じ機能をもつ場合もあれば、まったく別の役目をすることもある。前者では書物や新聞に使われている印刷紙、あるいは板ガラス、衣服としてはさきにあげたもののほかに、児童のかぶる運動用の赤白帽などが該当する。しかし、食器をはじめ多くの道具類は、かたや内側、かたや外側であり、内側は食物や飲料水に接する部分、外側は装飾その他で美的感覚（あるいは食欲増進？）に重きをおく。

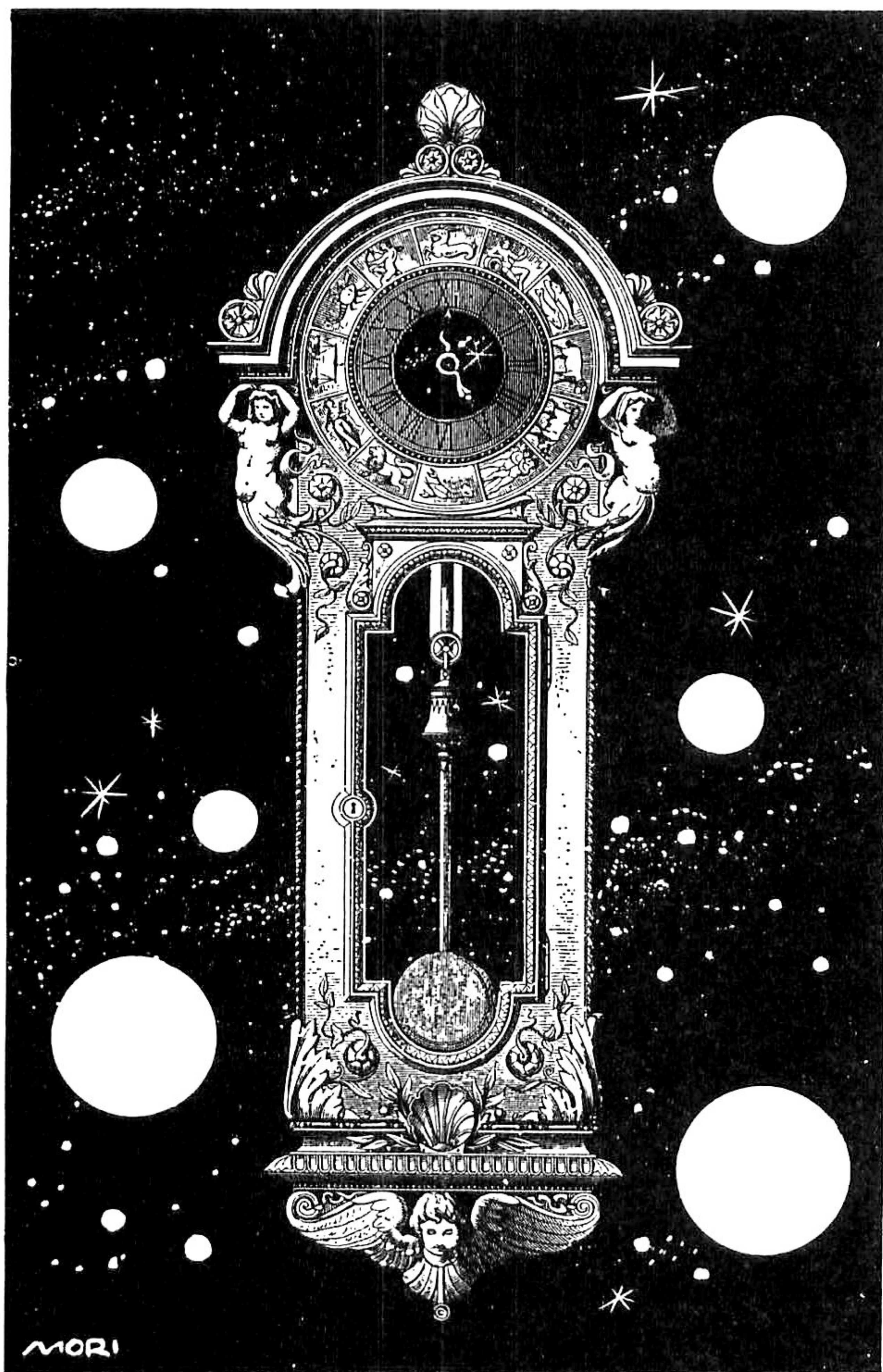
カードは裏と表の役割の違う代表例だろう。裏はまったく同じに、表は規則に応じてさまざまに印刷されていなければゲームはできない。切手や貼紙は表の印刷だけが重要だが、紙幣やコインは、裏と表とは一応きめられている。しかしこれらは、どちらを表とよぼうとも機能的には差し支えない。

宇宙空間に反対側はあるか

ところで、いま考えているのはすべて「面」である。数学的な言葉でいえば二次元である。われわれの住む空間は三次元であり、この三次元の中に面があるからこそ、面に裏表が存在するのは——裏表というのは後に述べるように、必ずしも適当ではない。両側といった方がいいだろう——すぐにわかる。

はやくいえば、面には（平面でも曲面でも）両側があるのは当然である。薄い面があって……片側だけが存在して、他の側はない……などというばかげたことはとても考えられない。そんなことがあったら、お化け以前の——何と表現していいか、いささか言葉に困るが——矛盾とでもしかいいようがない。

たとえば球面は（もちろん面だけを考えているのだから、内部はつまっていない。風船かゴムボールのようなものを想像すればいい）確かに片側（つまり外側）しか見えないし、そこしか手で触わることはできないが、内側にも面があることは誰でも知っている。たまたま逆側が見えなかったり、さわれなかったり、あるいは到達できなかったりするだけである。

XI　宇宙の裏側

ここで話は飛躍するが、次元をもう一つふやしたときどうなるか……を考えてみたいのである。宇宙空間は、想像を絶するような広大な三次元の広がりである。ぼう大な数の星雲、星団をだき抱えているが、一〇〇億光年先はどうなっているのか、誰も答えることができない。いろいろな学説はあるが、すべては仮定にすぎない。自然科学は実証されたものだけを認めることにしている。ただ……宇宙空間には端はないけれども有限である、二次元におきかえて説明すると、球面のようなもの……という考え方が支配的である。

球面に裏側があるように、宇宙空間に反対側がありはせぬか、という素朴な疑問が起こる。ただ、空間はあくまで三次元だから（相対論で四次元というのは、空間以外に時間を含めるからである）、裏と表という概念は成立しない。裏とか表とかいう空間は、四次元空間があって、四次元の立場からこれを見たとき初めて認められる概念であり、三次元だけなら、一方を表、他方を裏と区別する根拠はない。

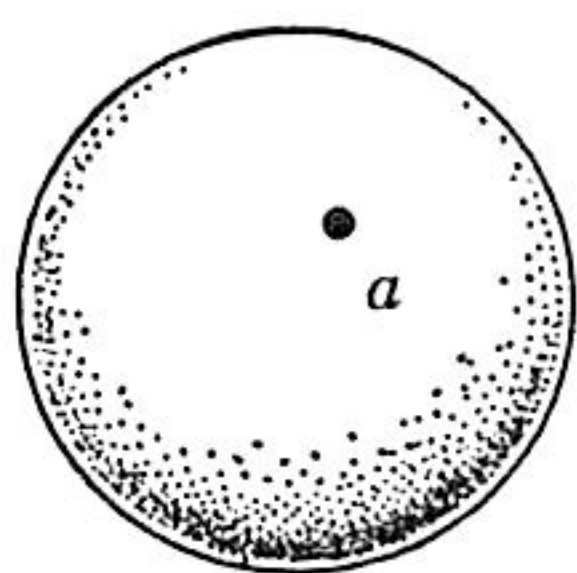
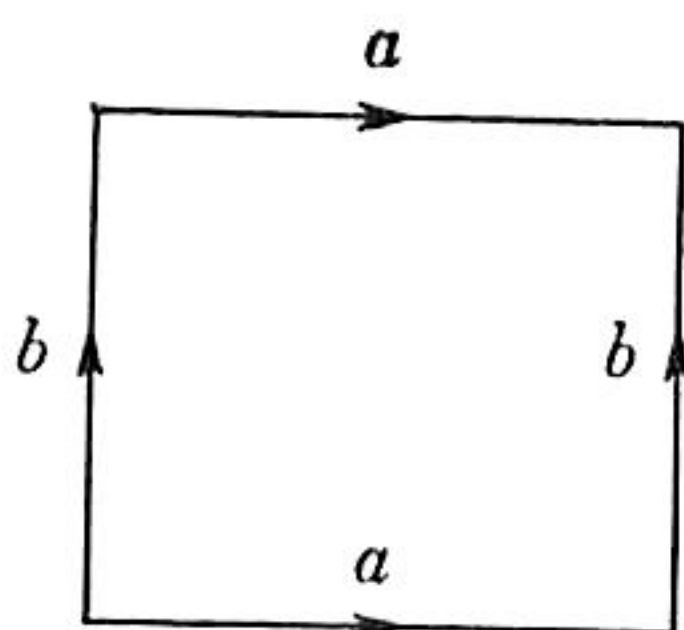
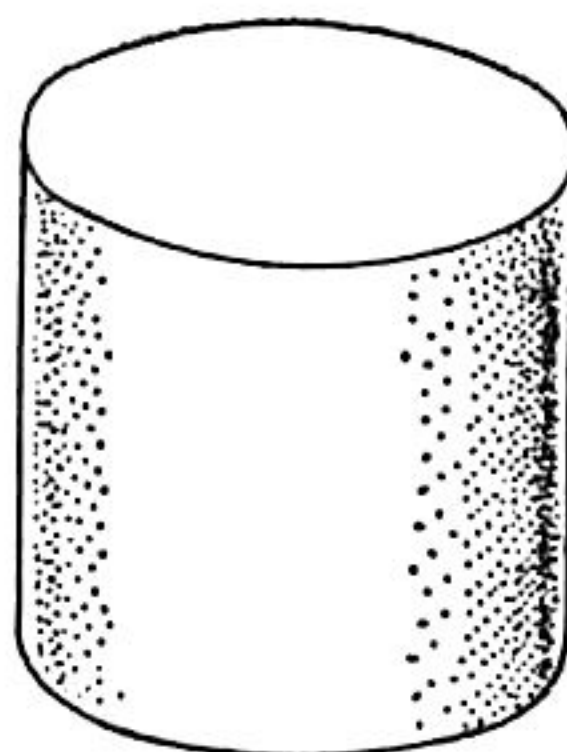
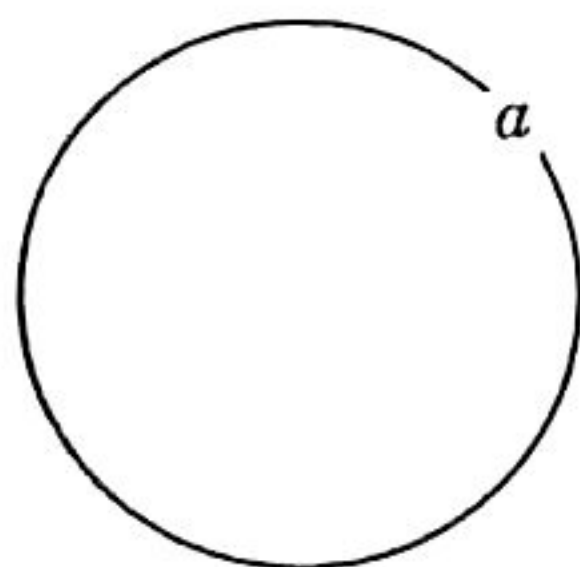
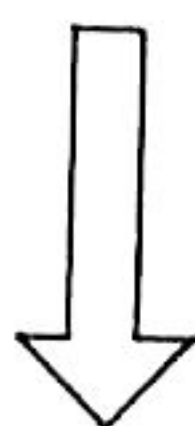
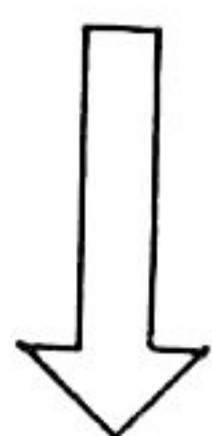
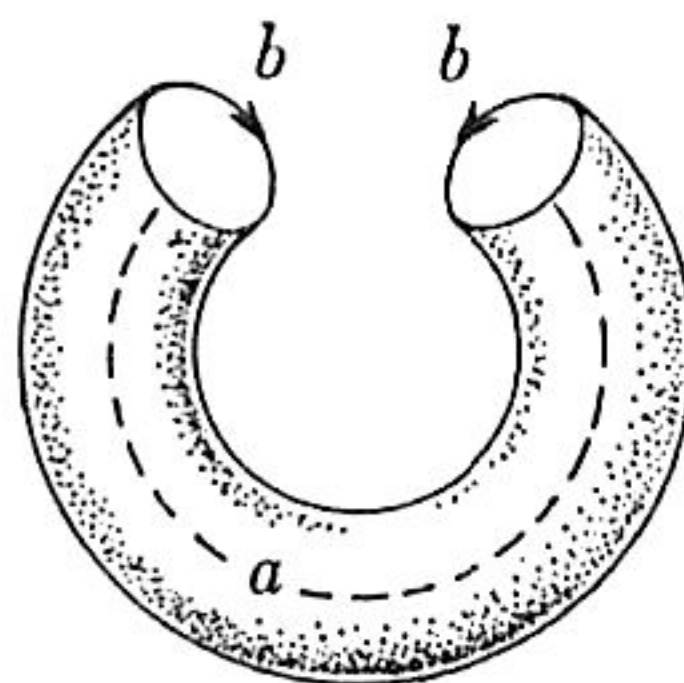
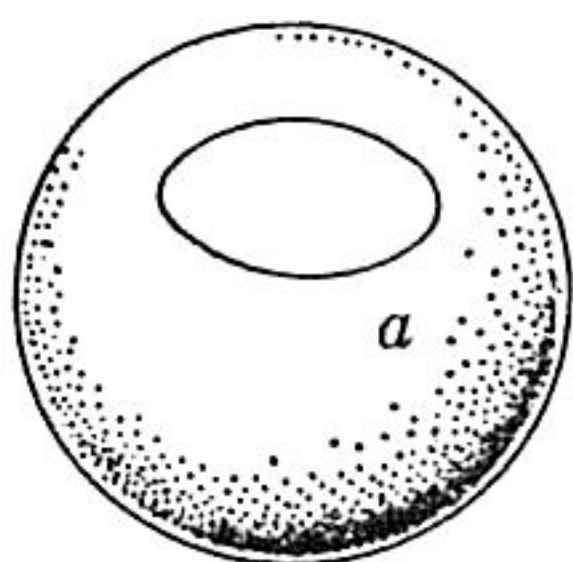
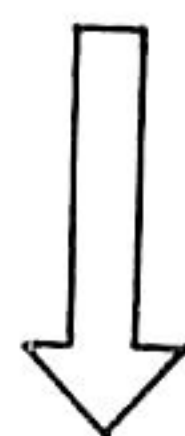
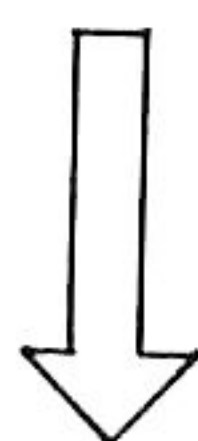
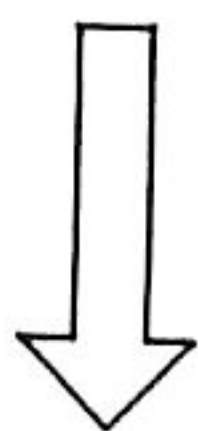
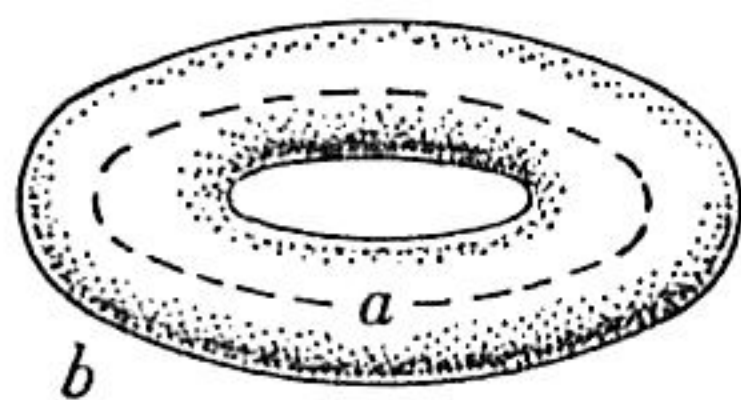
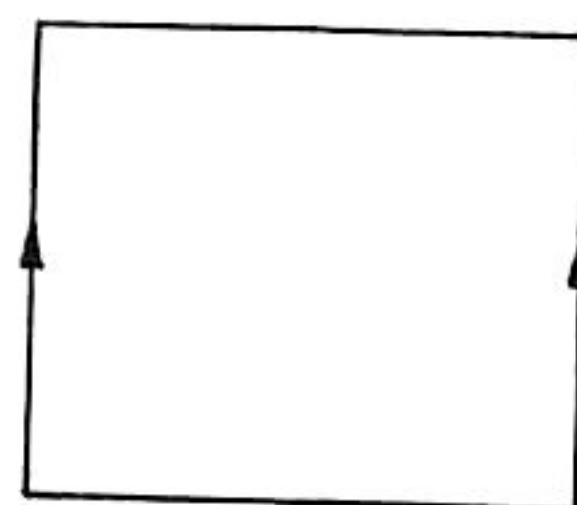
裏表の区別はつけられないが、反対側がある、ということは考えられる。風船という二次元の曲面だけに限定してみると、話はわかりやすい。小さな虫が風船上を這っているとする。虫にとっては面の上だけが世界であり、外側の空間とか、風船内の空間とかはない（この虫は二次元の世界に住んでいるのだから）。それではこの虫にとって、反対側の面（つまり

風船の内側の面）は存在しないのか。われわれの目から見れば、確かに「もう一つの面」はある。しかも現実の世界（風船の外側）のすぐそばに存在している。しかし虫は、もう一つの世界を見ることもできなければ、そちらに移動することも不可能である。

さてこの事実が、宇宙空間にあてはまらないだろうか。われわれの住む空間に接近して、もう一つの空間が存在しないのか。残念ながら、そのへんのところはまったくわからない。SF的な興味、いや形式的な学問である数学の対象にはなり得ても、物理学や天文学の立場からは何ともいえない。

トポロジーの考え方

しかし……裏側とか反対側とかいう考え方には大いに興味をそそられる。三次元では無理だから、二次元の、わかりやすくいえば紙（むしろ薄く広いゴム膜を例にとった方がいい）の裏表を考えてみよう。

いろいろな面の種類を研究する場合には、当然それをノートに記述しなければならない。数学者は記号を用いて話を進めるが、ここでは一切、数式を省くことにしよう。式のかわり

(球)　(ドーナツ)　(円筒)

12　形式図

に図を描くだけにとどめることにする。

まず、もっとも簡単なのは、カード、薄板の上面、お盆の底のように周囲がすべて端になっている面である。これをノートにうつすときには、マルでも四角でも、とにかく閉じた曲線（簡単に閉曲線。数学ではこんな簡単なものを、わざわざジョルダンの閉曲線とよぶ）を描けばいい。四角なトランプがなぜマルで、マルのメンコがどうして四角になるのか、と抗議されるかもしれないが、「周囲がすべて面の端」ということだけをいい表すためには、形などどうでもいいのである。それどころか、波状のトタン屋根とか、子供の赤白帽の赤の部分なども、この表現のしかたでいい。要するにみんなゴムでできていて、ノートにうつすときには、ゴム膜をうまいことピシャリと描いた……と考えるのである。長さや角度や形などはこの際気にしなくてもかまわない。

このような方針で図形を研究する学問を（もちろん研究が進めば、三次元も四次元も、もっと高度の次元も対象にするが）、位相幾何学、むしろ外国語をそのまま使ってトポロジーとよぶ。ややこしい言葉はともかくとして、具体的に話を進めていこう。

円筒の側面をノートにうつすときにはどうするか。これは柱の軸の方向にはさみを入れて切ったと考えて、長方形をそのまま描けばいい。ただしこの場合には、上辺と下辺とは端で

あり、左辺と右辺とはつながっている（むしろ同じもの）と考える。ただし左辺の上部は右辺の上部、左辺の下部は右辺の下部と重なるのだから、そのことをはっきりさせるために同じ向きに矢印を描いておくといい。

それでは円錐の側面はノートにうつすとどうなるか。はさみを入れると扇形になるから、閉曲線が描けて、曲線の一部分は端に相当し、他の部分は切れ目になる……などといってはいけない。円錐の側面を表すには、はさみなど必要はないのである。そのまま閉曲線になり、曲線はすべて端になる。円錐が（もちろん底面はないとする）薄いゴム膜でできていると考えればこのことはすぐに納得できるだろう。

今度は逆にノートに長方形が描かれていて、左辺と右辺は同じもの、さらに上辺と下辺も同じもので、それぞれ向きも等しいとしたら（図12参照）これは一体どんな曲面を表わしているのだろうか。みんなくっついているんだから球面だ、などと考えるのは早合点である。まずaとaとを合わせてみると、円筒ができる。その両端はともに円形になり矢印bが回っているが、管を曲げることにより二つの矢印はうまく合致する。できあがったものは……ドーナツである。トポロジーではドーナツといわずに、トーラスなどというしゃれた言葉を使う。

それでは球面（もちろん片面――たとえば表側――だけ）をノートにうつすにはどうすればいいか。これは困ったことになった。

世界地図を本に描くときにはメルカトル図法その他の方法があるが、これらは位相幾何学的には、決して合理的な表現法ではない。トポロジーでは、長さや角度や面積はどうでもいい。とにかくそれが球面であることを示す（実際には無理な注文だが）最も簡潔な方法をとらなければならない。

仕方がないから、ゴム風船を針で突いてやる。風船はパチンと破れ、空気は洩れる。穴は点でしかないが、この点状の穴を強引に押しひろげて大きな円にしてしまう。実際の風船でそんなことをすれば、必ずゴム膜の一部に切れめが生じるだろうが、トポロジーでは針によってつくられた穴を十分に大きくすることができる、と考えるのである。こうして、球面は円としてノートにうつされる。いや、必ずしも円でなくていい。楕円でも四角でも、とにかく閉曲線なら何でもいい。閉曲線が描かれていて、「閉曲線全部が同一点を表わす」とすると、それは球面になる。正しい球面だけでなく、ラグビーボールのような楕円体の表面でも話は同じである。トポロジーでは、バスケット用のボールとラグビーボールとの区別はしない。

メビウスの帯とクラインの壺

ノートにうつしたときどうなるか、をくどく述べてきたのは、つぎの「メビウスの帯」以降の話で、これがきわめて重要な役目をするからである。

メビウスの帯は昨今、多くの書物で紹介されるようになった。テープをある長さで切り、切り口をそのまま糊でつなぎ合わせれば円筒側面になる。テープをひといいひねりしてつないだものをメビウスの帯とよぶ。しごく簡単なものであり、なぜこんなものに、わざわざ名まえまでつけてさわぐのか……と、いぶかる読者諸氏もあるかもしれない。

円筒側面だったら、中心線を端と平行に切っていけば二つに分かれ、二つの円筒側面ができることは想像しただけでわかる。ところがメビウスの帯の場合、中心線を切り終っても、二つにならない。依然として一つの輪になっている。ちょっとした子供むきの手品として、おもしろい。

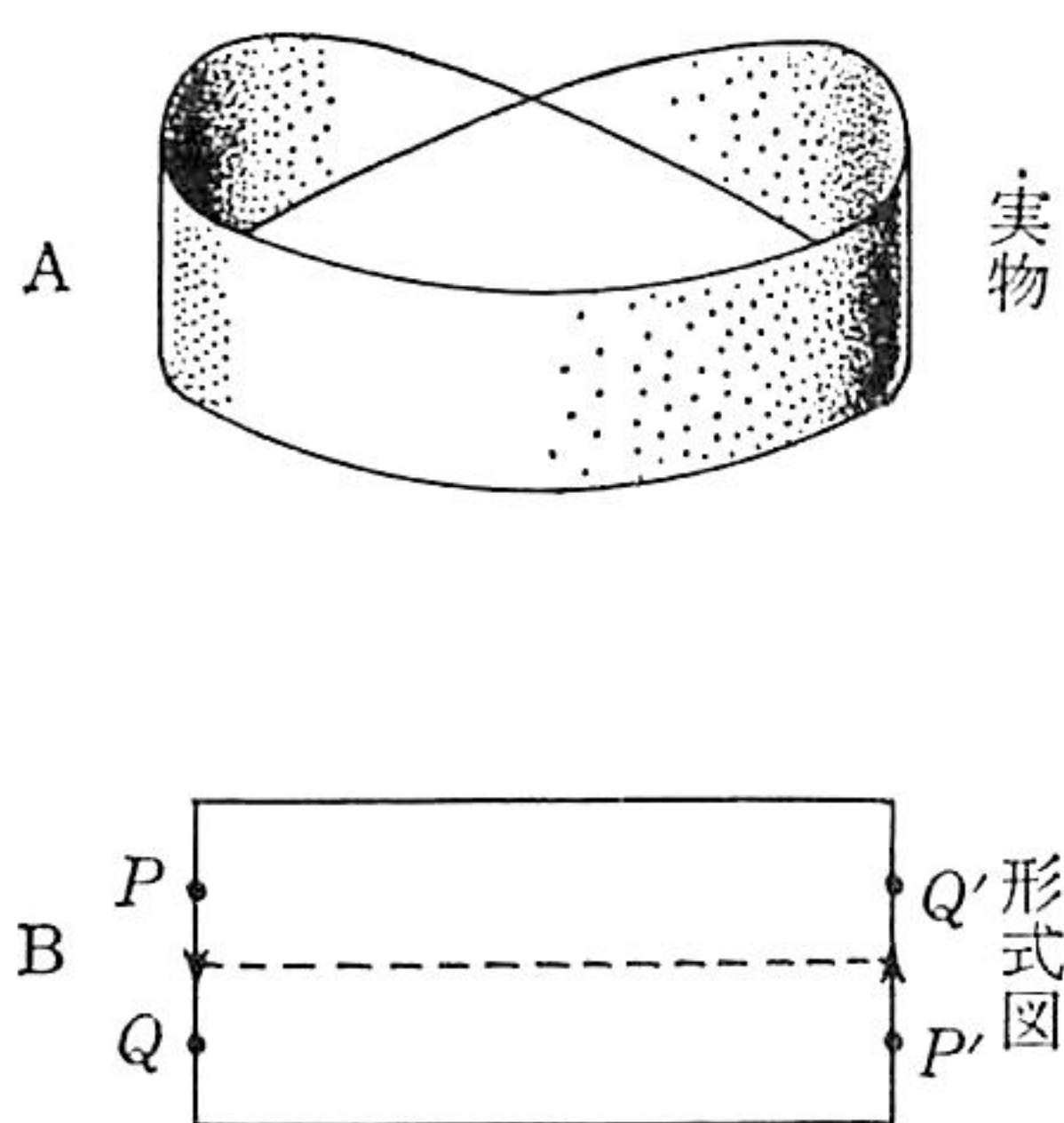
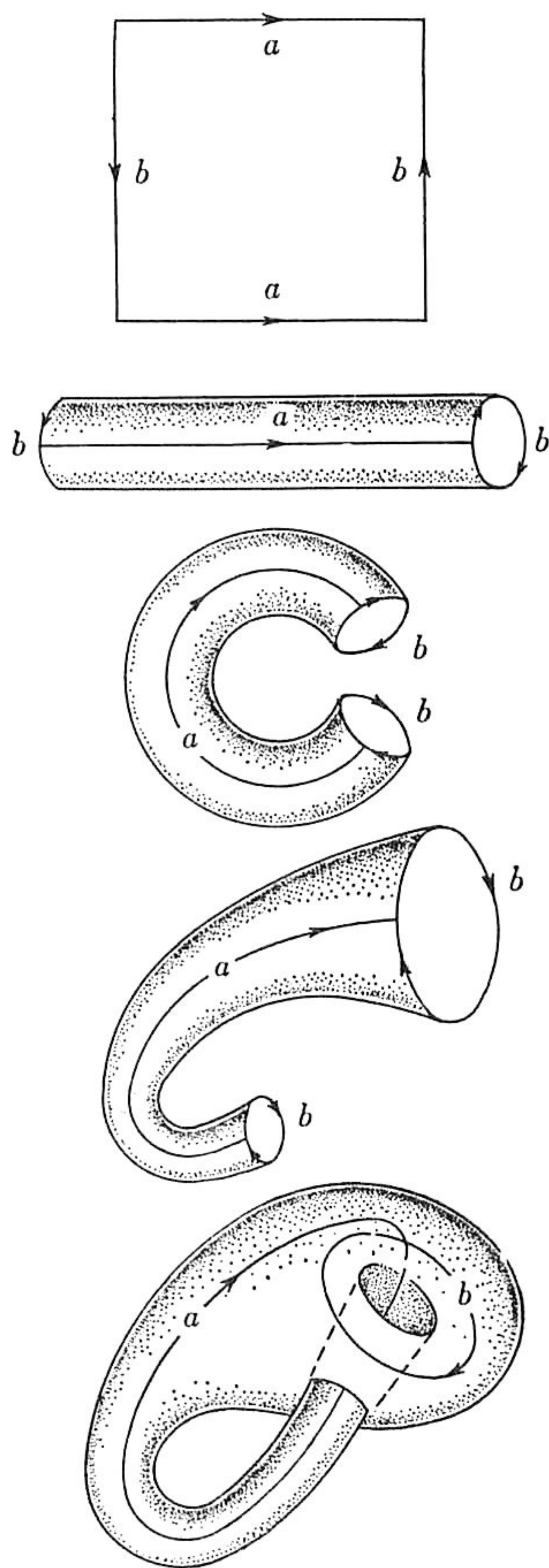
メビウスの帯が（トポロジーの立場から）重要視されるのは、手品の材料になるからではない。結論を先に述べると、これまでのカードの面、円柱側面、ドーナツの面、球面などが

いずれも「向き付け可能な面」であるのに対し、メビウスの帯は「向き付け不可能な面」になっているからである。ずいぶんややこしいよび名がでてきたが、名まえの意味は後まわしにして、メビウスの帯をノートにうつすことを考えよう。

図13のAはメビウスの帯をそのまま描いたものである。指でテープの面をたどっていくと、二まわりしてもとの位置に還ってくることは、自分で調べてみればすぐわかる。このとき指は、(常識的な意味での)テープの表も裏も全部こすることになる。

さてこのメビウスの帯をノートにうつしたものが図13のBである。長方形の上辺と下辺とは端であり、右辺と左辺とは逆向きに重なる。つまりPとP′とは同じ点であり、QとQ′とも同様である。だから矢印は反対向きに描かなければならない。

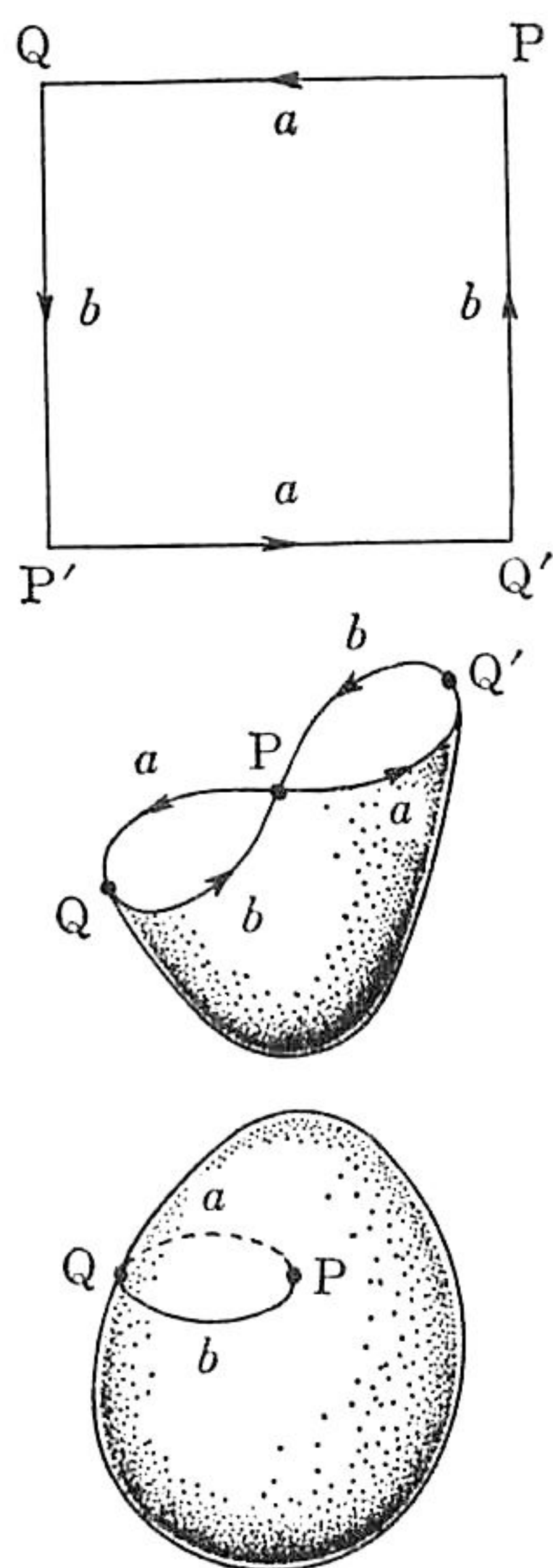
メビウスの帯であることを示すのに、いちいちAのような絵を描いていたのではたまらない。簡単にBで表わすわけである。ノートは平面だから、簡略化されてこのような図になるが、実際には曲がっているかもしれないし、ねじれているかもわからない。Bは一種の形式化である。また

A　実物

B　形式図　P　Q　Q′　P′

13　メビウスの帯

14　クラインの壺

この図は、種々の定理などの証明にも用いられる。メビウスの帯を中心線で切るというのは、Bの長方形の破線の部分にはさみを入れることに相当する。たとえ切っても、PとP′、QとQ′とはつながっている（というよりも、むしろ同一点である）から、この図形が二つに分割されることはない。

この項の目的は、あくまで現実の物理空間はどうなっているかを考えることであり、決して数学を勉強するわけではない。しかし形式化された数学的結果が、現実の事象にあてはまるか、あてはまらないか、という方法で調べていくのも一つの手段である。そんなわけで、

メビウスの帯をもう少しややこしくした理論を紹介しよう。

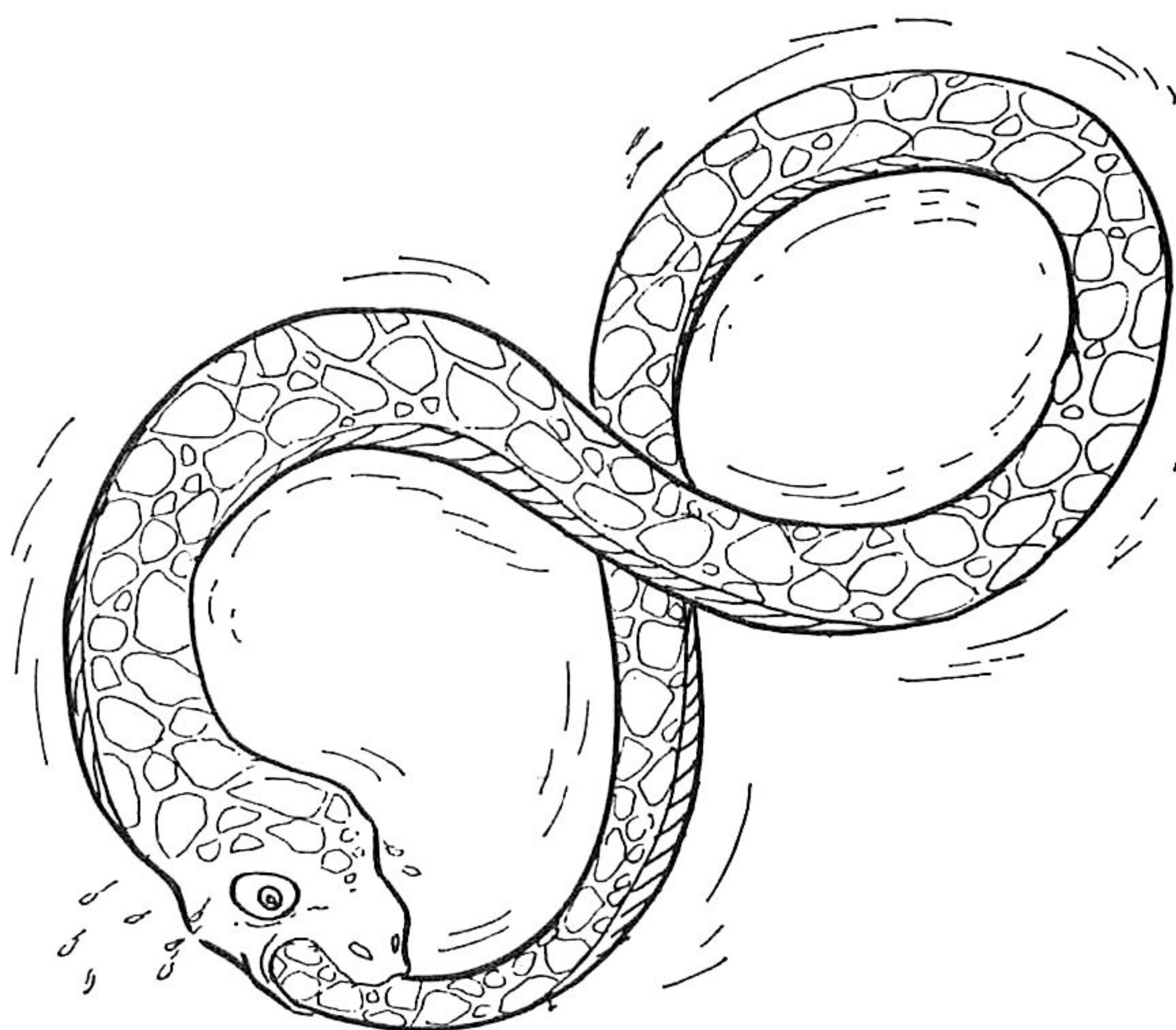
形式的な面（これまで、ノートにうつされた図とよんできたもの）を先に描くことにする。今度は端のない面を考える。図14のように、上下は同じ向きに、左右は反対向きにつながっている面とは、一体どんなものか。

上下を合わせて、まず円筒ができる。この管を曲げていっても、切り口の円は反対向きにまわっているから、そのまま重ねることはできない。いくらくやしがっても、これは不可能である。

15　射影平面

もしこれが、四次元空間の中にあれば、管の両端が矢印どおりにピタリと合致することが数学的にわかっているが、そんな図を描くこともできないし、想像してみることも不可能である。そこで、この場合には少しずるいことをして、曲面の一部

に穴をあけて、そこに管を通すことにする。「穴をあける」という所だけをかんべんしてもらえば、端のない曲面ができあがるのである。球面だったら、外側を這う虫は絶対に内側に入ることはできないが、この曲面上の虫は、曲面のどこへでもいくことができる。いささか妙な形をしているが、これをクラインの壺とよんでいる。

図14が問題にされるなら、当然図15のタイプも考えられなければならない。長方形の上下を反対向きに重ね、左右もまた反対向きに合わせろというのである。これももちろん、三次元空間内では、できない相談である。クラインの壺よりも、なお始末がわるい。図のようにPとP′とを重ねるところまではどうやら無事である。このあと、QとQ′とを合わせて、しかもa同士、b同士を矢印のとおりにくっつけなければならない。穴をあけたぐらいでは、おさまりがつかない。最後の図は苦しまぎれに描いただけであり、「現物」は決して卵型ではないのである。これは射影平面と名づけられているが、面そのものはもちろん曲面である。ただこの場合も、面上を這う虫は、面のどの部分へも到達できる（図15の最後の図は、直観的考察にさいしてはあてにしない方がいい）。

反空間は存在するか

さていろいろな面を調べてきたが、ここで時計まわりの方向に矢印のついた環があり、それが面の上を自由に移動できるとしてみよう。ふつうの平面、円筒側面、球面などでは、いくら環が動いても、終始矢印は時計まわりの向きになっている。これに反して、メビウスの帯をどんどん移動していくと、いつのまにか反時計まわりになる。クラインの壺や射影平面でも、大きく移動すると矢印の向きが逆になることがある。つまり後の三者は奇妙な曲面であり、右回りの環（あるいは渦）だと思っていたのがいつのまにか左回り……というように、環の向きは定まらない（棒状の矢印で以上のことを論じても無意味である。棒が面上を動くときには、いくら向きを変えてもかまわないのだから）。

とにかくこのようなわけで、メビウスの帯、クラインの壺、射影平面は他のものとはっきり区別され、これを「向き付け不可能」な面とよぶ。

数学では三次元空間でも（さらにもっと高次の空間でも）、「向き付け可能」のものと「不可能」のものとを考えて、式を用いて記述している。ただし数学という学問は、「それは現

実にどういうものか」を説明する義務はない。
われわれが知りたいのは、この広大な宇宙は向き付け可能だろうか、それとも不可能だろうかということである。
もし不可能なら、何十億光年もの旅をしてきた右まわしのねじは左まわしになっているかもしれない。逆にもし向き付け可能なら、どこに行っても向きが反対になるようなことはない。そのかわり、カードの裏表、円柱面の内側と外側、球面のこれも内側と外側……というように必ず反対面（いいかえると到達不可能な面）があるのと同じように、反空間（?）が存在する、ということも考えられる。いったいどこに？　眺めまわしてもわかるまい。わからないが……もしあるとすれば、われわれの住む空間に接近した反対側に存在する……ということになろう。

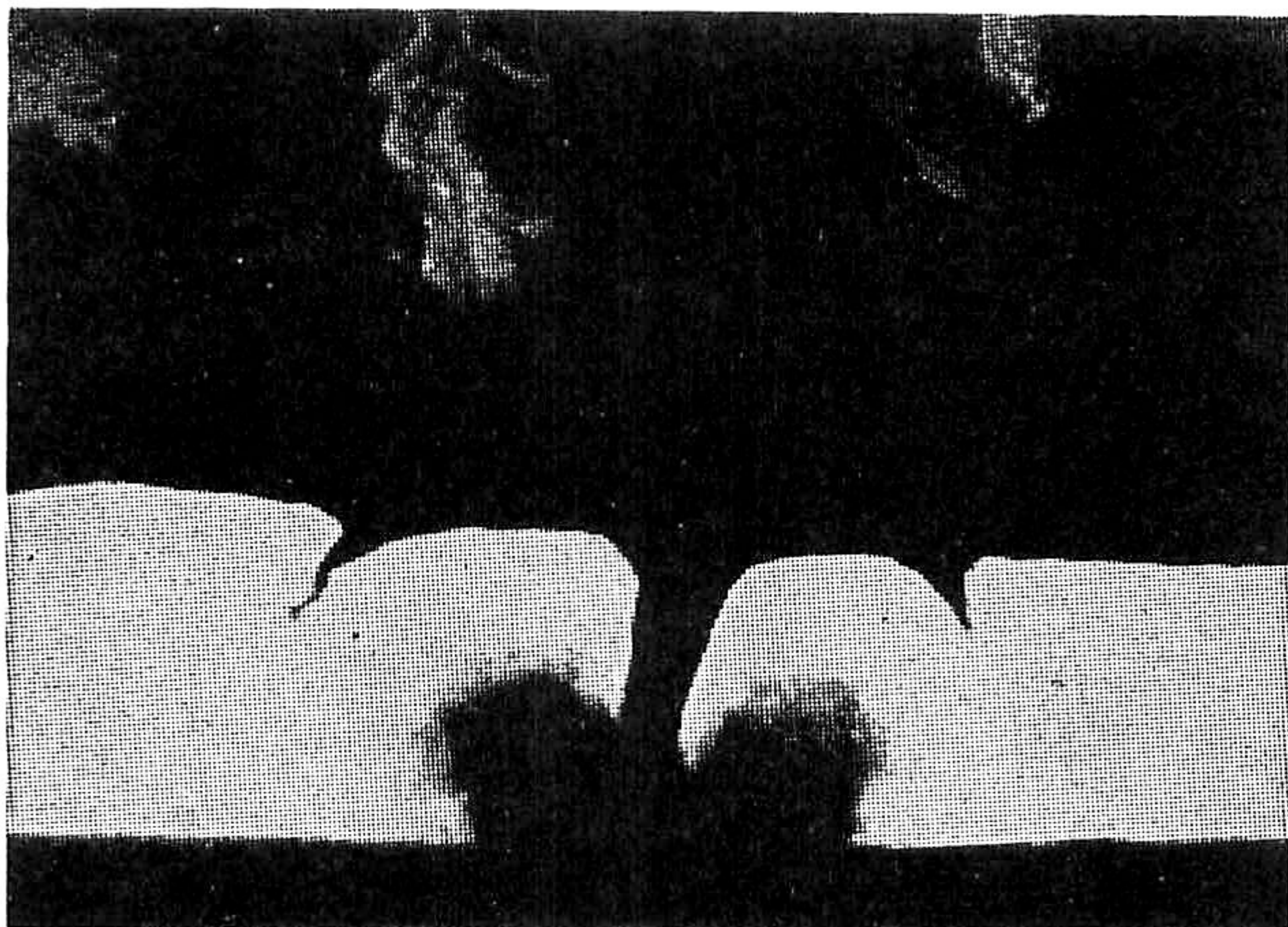
XII

ブラックホール

竜巻きと渦巻き

子供のころ、竜巻きの絵を見て、こんな恐ろしい天変地異のようなことが本当にこの世にあるのかと思った。荒れ狂う海面と上空の雲とが不気味な曲線でつながれて、ちょうど天と海とを結ぶ柱が現われたような感じだった。魚類は吹きあげられて大量の死骸が残り、船はへし折れて乗組員はとても生きてはいられない……と書かれてあった。正直のところ私は、地獄の絵巻きと同じで、竜巻きは推測による空想画だと思っていた。台風によって樹木が倒れ、家が崩壊し、小さな島なら全体が海水で洗われるのは理解できたが(アメリカの「ハリケーン」という映画がこれだった)、空中に巨大な柱がつくられるなどというのは「架空の話」でしかない、と考えていた。

しかし……竜巻きの写真が、ありのままで紹介されたのは、その後の新聞、雑誌類でもおびただしい数にのぼる。アメリカの平野部での写真が多いが、日本のものもある。やはり天と地とをつなぐ柱は現実のものだった。

竜巻きは、局部的な低気圧である。台風の発生原因がよくわからないように、なぜ竜巻き

16　竜巻き

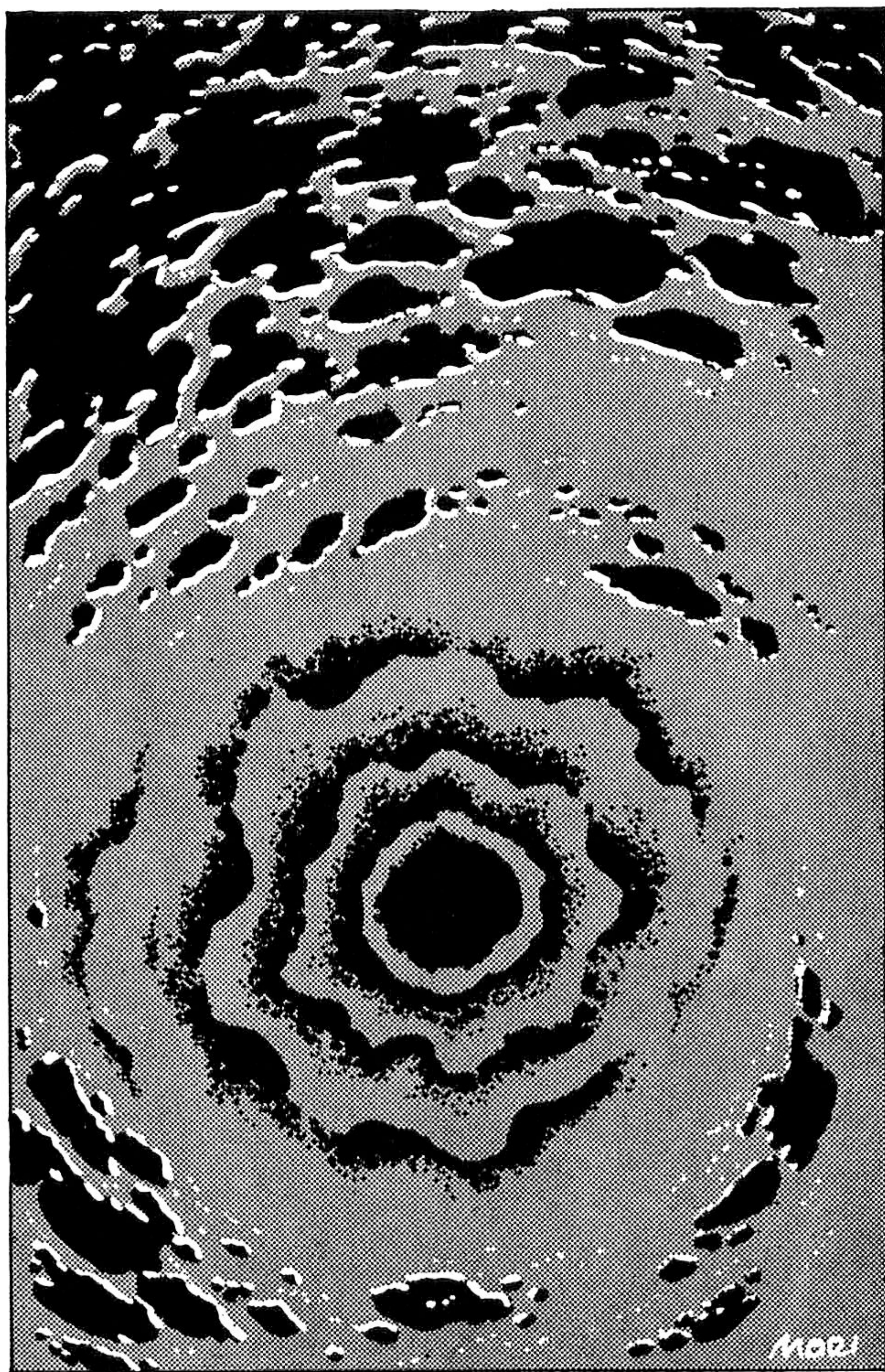
ができるのかもはっきりしない。とにかく気圧の低い部分が柱状にできあがる。まわりから空気が流れ込もうとするが、地球の自転などのために柱の中心に向かわずに、周辺を渦巻き状に走る。このために内部の気圧はかえって減少して、竜巻きは発達する。

海上でこれを見た人の話によると、上空から暗雲がほとんど真一文字にたれさがってくる。と同時に、その下の部分の海水が糸状に盛りあがっていく。こうして両方がつながって、竜巻きになる。これが蛇のように多少ゆらゆらしながら移動していき、数分あるいは数十分して消え去ることが多い。アメリカあたりでは、家畜などが吹き

あげられるという。日本でも屋根がわらが舞いあがり、ガラスは割れ、温室などは完全にこわれてしまう。この竜巻きの小規模のものがカマイタチである。低気圧の旋風の一部に身が触れた瞬間に、ぴしっと皮がさけ血が吹きだす。

空気だけでなく、水も渦をつくる。鳴門海峡の大渦は特に名高い。瀬戸内海全体の潮のみちひきを、関門、鳴門その他わずかの出入口でひき受けるのだから、潮流の激しいのは当然だが、どうして鳴門だけに特に大きな渦ができるかは、複雑な地形などに影響されてのことであろう。海面にスッポリ穴があいた状態になり、浮遊物は吸い込まれ、かりに魚や人間が付近を泳いでいたとしたら、たちまち穴の中へ没してしまうと思われる。ボート程度の舟だったら、やはりこの激しい渦には勝てまい。幸い渦の発生時間やそのおおよその場所はわかっているから、そのような悲劇はめったに起きないが、かりに大型船から目の前に吸い込まれる人を見たら、さながら生地獄の感じがするだろう。

星の一生

さてこの章の結論を先にいうと、宇宙空間のどこかにもそのような穴があって何でも吸い

込んでしまうようなものがありはしないか……を考えることである。これが最近よくいわれているブラックホールである。ブラックホールとはいったいどんなものか、そうして吸い込まれたものはその後どうなるか、を述べるまえに、星の一生を調べてみよう。

夜空に輝く大部分の星は、太陽のようにみずから光をだしている。これらの輝く星が、地球のような惑星を従えている場合も多いが（惑星がさらに衛星――地球に対する月のように――をもつこともある）、星の主流は何といっても輝く星（これを恒星とよぶ）である。そのほかに主として水素からできている星間ガスがあり、恒星と星間ガスの集合体を銀河とよぶ。星雲とか星団とかいうよび名は、恒星グループや銀河の別名にすぎない。

恒星の成因ははっきりしないが、おそらく宇宙空間にあるガス状物質が何らかのひょうしに凝集したものであろう。その中心部では高温、高密度になり、水素原子核はたがいに結びついてヘリウムになる。いわゆる核融合である。このときすさまじいエネルギーを放出し、これが熱と光とになって輝く。多くの恒星では、この状態が数十億年間続く。太陽もその例にもれない。

われわれの住む銀河系だけで、恒星はほぼ二千億個あり、この銀河系外にも、大小のマゼラン星雲、アンドロメダ星雲を始め莫大な数の銀河系が存在する。ということは、全宇宙に

存在する恒星の数はまことに驚異的なものである。しかし不思議なことに、一つ一つの恒星の質量は、太陽とそれほど違わない……らしい。「らしい」と歯切れのわるい言い方をしたのは、何億光年という遠方に、準星というとほうもなく明るい星（のようなもの）が存在するからである。実のところ、この正体はわかっていない。とにかく星に準ずる天体、という意味で準星（クエーサー）とよんでいるが、現在の天文学において未解決の問題の一つになっている。準星を別にすれば、恒星は大きなものでも太陽の十倍を越すことはなく、小さくても十分の一程度である。質量が、これより大きくても小さくても、恒星をつくるには不安定な要因があると考えられる。

太陽のように核融合を起こしながら輝いている恒星の寿命は、一〇〇億年程度と思われる。太陽の五、六倍もの質量をもつ恒星は、それだけ燃料（水素）も豊富だから、長もちしてもいいような気がするが話は逆である。高温、高密度（したがって中心部では高圧力）のため、融合速度は激しく（もちろん、そのぶんだけ明るく輝くことになる）、かえって寿命は短い。中には、水素核融合が一億年ももたない重い（いちいち質量が大きい、というのはわずらわしいから、簡単に「重い」ということにしよう）星もある。太陽は代表的な中程度の星であり、現在までほぼ五〇億年燃え続けて、今後も同じほど照り続けるとおもわれる。太陽

が燃え尽きてしまう……などとは、孫子(まご)の代まで心配無用である。
太陽は当分大丈夫だが、宇宙には水素を使い果たした恒星も多い。融合が中心部から周辺部に移ると、収縮力が減って星は大きくなる。表面の温度もさがる。太陽のように表面温度が六〇〇〇度程度だと白色光線をだすが、低温度のものは赤い光だけを放射する。だからこのような恒星を赤色巨星、俗にいう赤星である。温度は低いが図体は大きいから、全体としては明るい。もっとも、地球から見ての明るさは星までの距離に関係してくるから、本当の明るさ(これを絶対等級という)と、地球で見た明るさ(こちらは実視等級)とを混同してはいけない。ここでいう明るさとは、もちろん絶対等級のことである。

〝新星〟が生まれる

さて赤色巨星はその後どうなるのか。中心部はヘリウムになり、周辺部だけに水素を残すこの星はきわめて不安定であり、膨張と収縮とを繰り返すため、明るくなったり暗くなったりする。変光星というのがこれである。ところがやがて、中心部にヘリウム原子核が十分にたまると、爆発的にこれが結合して大きな原子核に変わる。水素原子一個の重さを一とする

とヘリウムは四、これがくっついて最初は酸素や炭素になるが、ついには重さ五〇〜六〇の原子核に変化するのである。鉄原子の重さが五六であり、要するにこの大爆発によって、ヘリウムが複雑な核変換をへて、鉄に変わると思えばいい。

水素をヘリウムに変える実験、つまり太陽内での核融合は、爆発的には水素爆弾として実験され、平和利用としては核融合と称して研究途上にある。もっとも地球上では重さ二の水素（これを重水素とよぶ）を二つくっつけてヘリウムにし、このときでるエネルギーを発電に利用するわけだが、とにかく水素核融合の方は人間の手の届く範囲にある。しかし、安定なヘリウム原子核をさらに融合させて鉄などに変える……のは、現在の地球上の実験では思いも及ばない。太陽の中心部ほどの高密度、高温度があって、初めて可能になるのではあるまいか（計算上では、ヘリウムよりも鉄原子核の方がさらに安定である）。

とにかく変光星は大爆発して、一部は星間物質として宇宙空間に飛散するが、大部分はきわめて密度の高い、小さな星になる。これを新星とよぶ。昔は星の爆発を見て、これこそ新しい星の誕生だというので「新星」という名をつけたが、実際にはかなり老年期なのである。しかし今さら、名まえを変えるわけにはいかない。年老いても高温のため青白くみえるから、こんなことからも青年と間違われたのではなかろうか。

新星がさらに年をとったら……星はそのまま凝縮して小さくなっていく。ただし温度は依然として高い。したがって白くみえる。白くて小さいこの星を、白色わい星とよぶ。縮んだ星だから当然密度は大きい。冬の夜、南の空にみられるシリウス（俗称青星）の伴星は代表的な白色わい星であり、密度は一立方センチあたり一〇〇キログラム程である。角砂糖一個が相撲とりくらいの重さであり、とてもポケットなどに入れられない。豆粒ほどのわい星の物質（岩石とも金属ともいいがたい）を持ちあげるのに、大の男がよいしょよいしょと汗水流すさまを考えると滑稽な感じさえする。

ブラックホールの存在

天体物理学が発達しなかった数十年まえまでは、「星」というのは白色わい星までをいった。それ以後はどうなるのか、よくわからなかったのである。しかし……その白色わい星も、やがては変化していくはずである。

この程度の高密度の状態になると、もはやふつうの固体としての形態を保つことができない。要するに、原子を隙間なくぎゅうぎゅうつめても、こんなに重くならないのである。地

XII　ブラックホール

上の物質で重いものは、一立方センチあたり、鉄が八グラム、鉛や銀が一一程度、金が一九、白金が二一であり、かなり重いがとても白色わい星の比ではない。

白色わい星は、時がたつとだんだん原子はつぶれて、原子の中の電子ははがれて（あるいは原子核の中に入り込んで）、核ばかりになってしまうのである。つまり原子でなく、核を構成する中性子だけになってしまう。中性子とは元来が原子の中心に陽子といっしょにぽかりと存在しているものであるが（ちょうど太陽系の中の太陽と同じように）、この中性子だけで星をつくることになる。これを中性子星とよぶ。白色わい星の半径が一万キロ程度であるのに対して、中性子星は一〇キロほどにすぎない。そのかわり密度は、一立方センチあたり一〇〇万トンから数億トンくらいになる。もはや「手でもてる」などという感覚ではない。

ひと昔ほどまえ、宇宙から周期的な電波がやってくるとさわいだことがある。このように規則的な発信をするものは、知能をもった生物に違いない、というので宇宙生物論がさかんに論じられた。しかし……やがて、この電波は——脈搏（みゃくはく）のように打ってくるから、地球ではパルサーとよんでいる——中性子星から出ていることが明らかになった。電波の周期が大へん短いことから、この天体は激しく自転していることが予想される。中性子星は強い磁界にかこまれ（一説によれば、地球表面の磁界の一兆倍もあるといわれる）、これの回転によって

電磁波エネルギーが断続的に放出されることになる。

さて、この中性子星がもっと凝縮したらどうなるか。密度は……おそらく一立方センチあたり一〇〇億トン以上になろう。さてこの天体は、小さいながらも物凄い質量をもつことになる。二物体の間に万有引力が働くことは、昔のニュートン力学でも、二十世紀になってからのアインシュタインの相対性理論でも変わりはない。このような超密度の天体付近では、万有引力は想像を絶するほどに大きい。これをブラックホールといい、アインシュタインの一般相対論の解答の一つである。複雑な数式を駆使して結論されるものであるが、ここでは数学的な厳密性はやめて、わかりやすくつぎのように考えることにしよう。

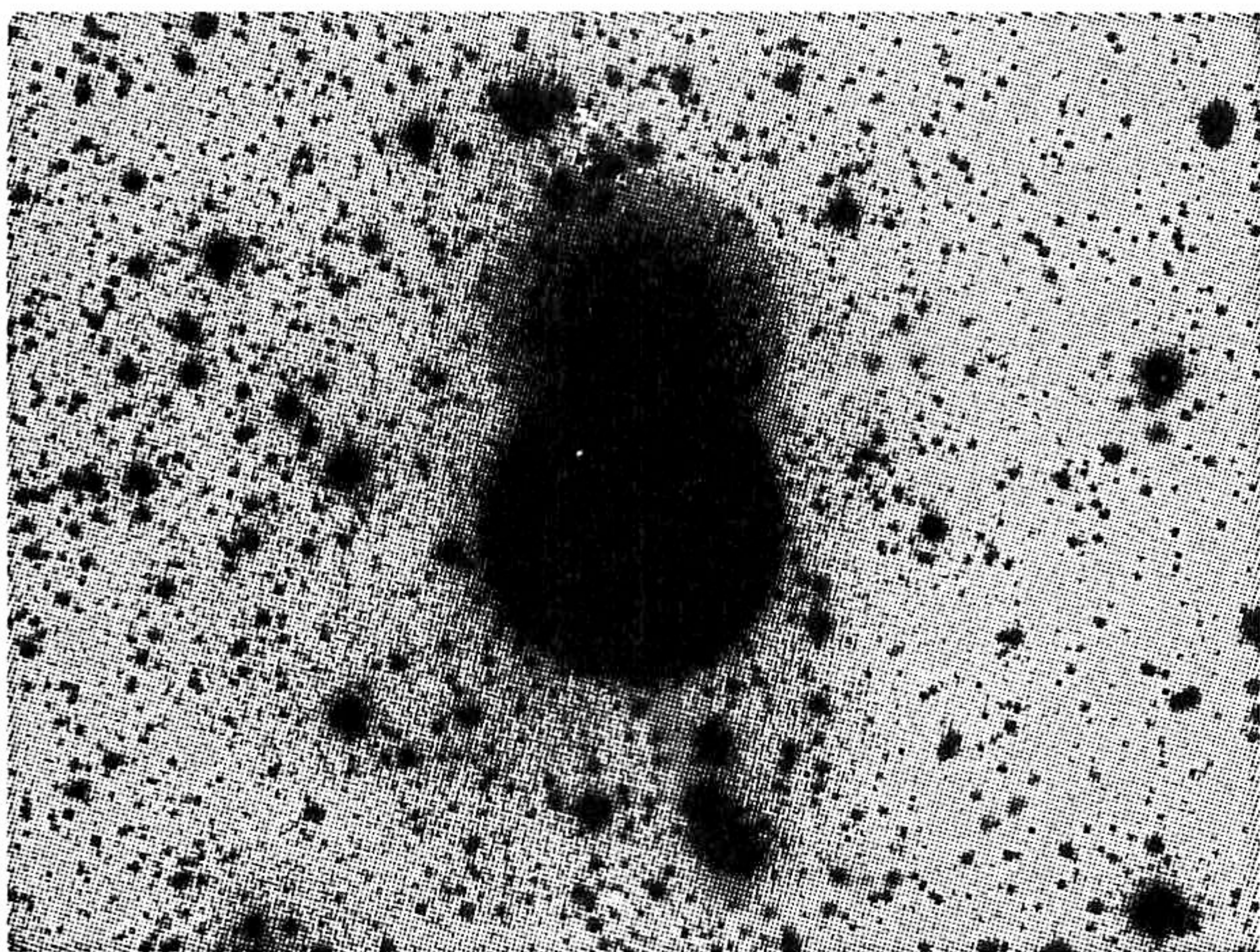
高い塔などの上から水平方向にものを投げると、放物線を描いて地上に落下する。初めの速度が大きければ大きいほど、遠い位置に落ちる。空気の抵抗を無視すれば、落下点は初速度だけできまる。つまり初速度さえきめてやれば、重いものでも軽いものでも同じ放物線になるわけである。分子でも原子でも、あるいは陽子や電子のような素粒子でも例外ではない。

光は光子という素粒子、つまり「つぶ」である。光子そのものには静止質量（止まっているときの質量）はないが、光子を止めるという発想法そのものが無意味である。真空中の光

子は、いつも一秒間に地球を七周半回るスピードで走っている。運動量をもち、他の物体と衝突したときには、それに力積を与える。このような意味で、光子だけが力学的に特別扱いされる義理はない。

光子をかりに塔上から水平方向に走らせたら、やはり重力のために、わずかにわずかに下に曲がると考えなければならない……が、初速度があまりにも大きすぎるため、とうてい地球上ではそのような効果はみられない。あっという間に地球の重力圏から離れてしまうから……。しかし太陽ほどの大きな天体となると、光の曲がりは測定される。実際に、アーサー・スタンレイ・エディントンが第一次世界大戦の直後、アフリカで皆既日食を利用して太陽付近での光の曲がりを観測した話は有名である。

太陽付近では、光はほんのわずかに曲がる。しかし、白色わい星よりも、もっと重い星の近くまで来た光は……強力な重力のためにぐんぐん曲げられ、その中に落ち込んでしまう。現在われわれが知り得るものの中で最も速いものは電磁波（光も電磁波の一種）である。思考の上では、光よりも速い物質があったら……と考えてはいるが、これは単なる理論にすぎない。実験事実をもとにすれば、光速を基礎にとるべきである。

この最大の速さをもつ光さえ吸い込まれてしまうのだから、他はおして知るべしである。

17　ブラックホールがあるといわれる白鳥座X―1

何でもかでもこの巨大な密度をもつ天体に吸い込まれて、絶対に還ってこない。ブラックホール、つまり黒い穴といわれるゆえんである。

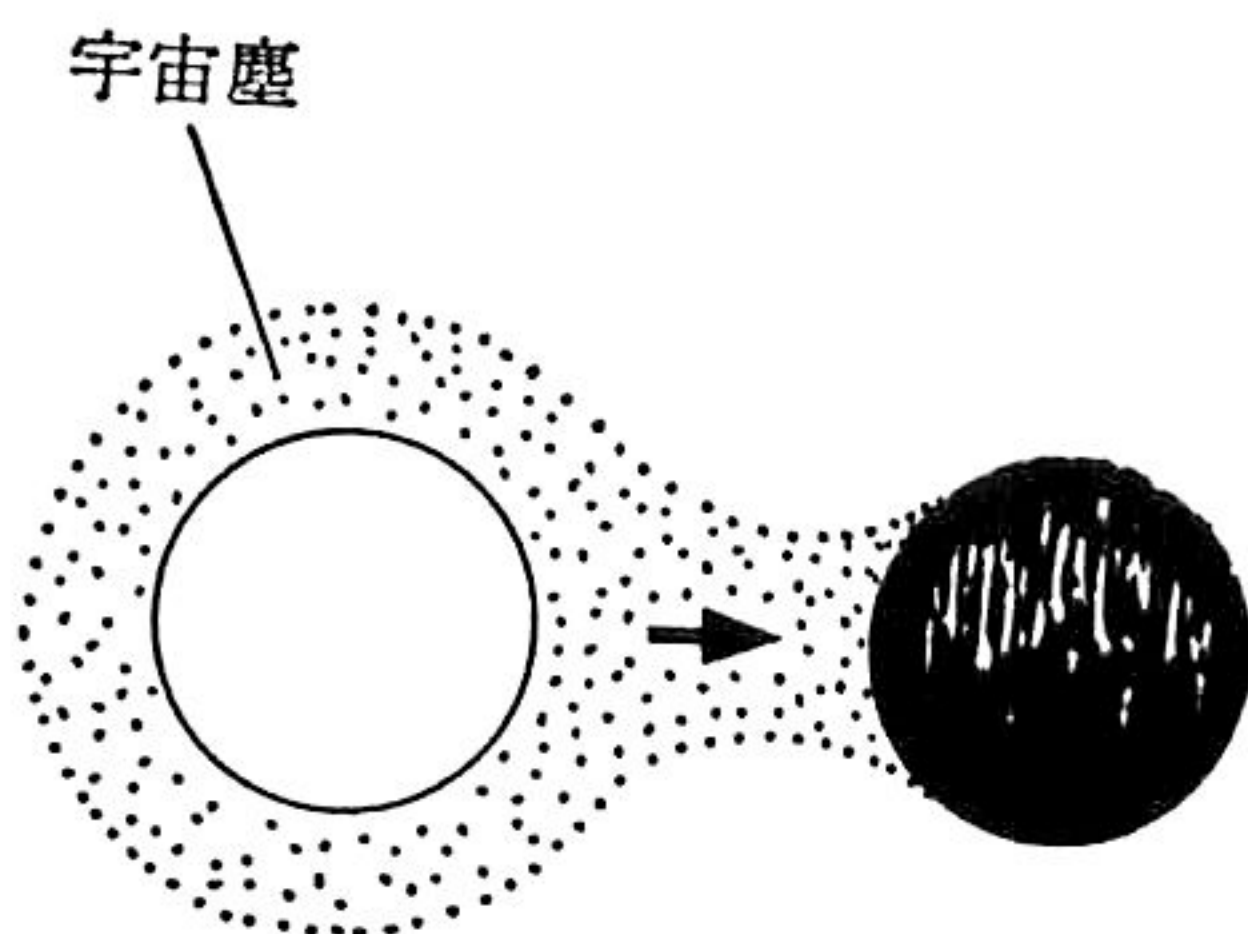
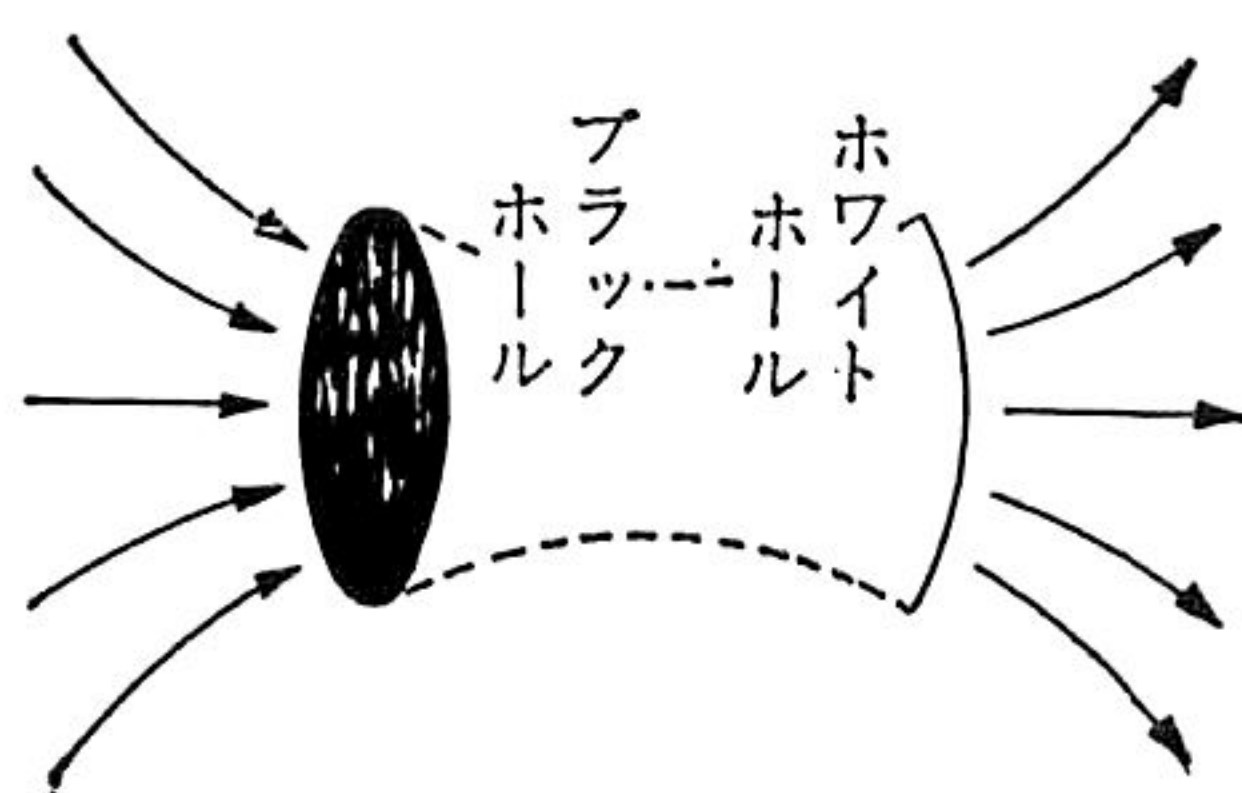
天空の大渦

ブラックホールの内部からは、われわれの住む世界に「何も」やってこない。つまり、その内部に関しては何らの情報も得られない。電波も光も来ないのだから、ただ暗闇になっているだけである。

相対性理論は、空間と時間とを同等に扱う学問である。アインシュタインの理論によると、ブラックホールの表面（つまり、

この世とあの世——ブラックホールの内部——との境界）では、時空間が極端に曲がっている。三次元の空間が激しくカーブしているとか、時間が曲がっているとかいうが、感覚的には、われわれには少しも理解できないのである。ただ、方程式の結論だけをいうと、かりに猛スピードのロケットがブラックホールの付近に近づいたとすると、われわれからみるとロケット内の時間はきわめてのろのろと経過していることになる。したがってロケットの速さも、われわれにとっては、ぐんと遅くなる。一方ロケットの内部では、自分自身はまともな速さで走っていると感じる。いや、感じるという言葉は適切でない。実際に超スピードで走っているのである。このように重力場の強さの違う二点では、時間とか空間とかの（一見して基本的とおもえる）概念は、もはや共通性をもたない。

理屈はともかく、宇宙空間にブラックホールは存在するのか。

すでにそれらしいものが認められている。白鳥座の首の付近にあり、正確にはＨＤＥ２２６８６８という。これは連星になっていて、たがいに重心のまわりを公転している。正しくいうと、この星は連星のうちの見える方の天体であり、いま一つのブラックホールの方は真暗である。「見えないものがなぜあるのか」ということになるが、見える星の動きから、当然もう一つの質量があることが力学的に保証される。しかも、見える方の星の周囲から、塵

埃が闇の中に吸い込まれていくのが認められる。まさに、天空に存在する鳴門の渦である。
　この星は地球から約六〇〇〇光年離れた場所にあるが、おそらく銀河系の中にも、あるいはそれ以外の所にも、多くのブラックホールが存在するであろう。宇宙にある天体は、地球とか太陽とかいうような「常識的」なものばかりではない。

ホワイトホールはあるのか？

宇宙塵

18　連星の一つがブラックホール

ブラックホール
ホワイトホール

19　ブラックホールとホワイトホール

　ブラックホールは一般相対論の式から帰結できるが、かりに式の変数の符号を逆にしてみるとどうなるか。あらゆるものを吐きだす穴ができあがる。そんなものが存在するかどうか、まったくわからない。現時点では単なる数学的な興味にすぎないかもしれないが、とにかく名まえ

だけはつけられていて、ホワイトホールとよぶ。そこから出てくるもの（当然光も含まれる）はあっても、そこに落ち込むことは絶対にできない。でてくるものが、ふつうの意味の質量をもったものかどうかさえはっきりしない。ふつうの意味の質量でなかったらどんな質量なのか……これもわからない。

しかし……もしかりにわれわれの宇宙が球面のような向き付け可能な空間（わかり易くいうと、ねじれていない空間。メビウスの帯とかクラインの壺などは向き付け不可能である）だとしたならば、空間に「反対側」があって、そこには到達できないことになる。風船上の虫が内側に入り込めないことを考えれば、このことは容易に理解できる。ただし両側とも三次元（立体）だから、風船よりも遥かに複雑だと思わなくてはならない。

もし反対側に行く穴があるとしたら、そこは時空間が極度に曲がったブラックホールだ……という考え方も、推理としてはおもしろい。そうして反対側の出口がホワイトホールになる。このような想像をすると、われわれの世界にあるのはブラックホールだけだということになる。そうしてあちら（？）の世界にはホワイトホールだけが存在する。

この世は入り口だけ、あの世は出口だけ……というのは片手落ちだ、つまり対称性を欠いている、というのなら、宇宙空間はメビウスの帯のように向き付け不可能な空間だとすれば

不公平はなくなる。ブラックホールに入ったものは、すぐさまホワイトホールから出てくる。両者は、まともに測ったら長い長い距離であるが、(比喩的にいえば)ゴム膜をちょっと破るだけで直ちにそこに到達できる。

三次元の宇宙空間が、いや時間をも含めた四次元の時空間に、そのような性質があるのかどうか、現在の天文学、物理学では何とも答えられない。自然科学は実証という基盤の上に立って、初めて成立するものである。ブラックホールから入って、ホワイトホールに抜ける……という話は、自然界の神秘を探る人間には、きわめて魅力に富んだ空想である。しかし一方では、科学というものは、「魅力」とは別に、測定された結果を一つ一つ地道に解決していくものであることをも忘れてはならない。

科学をあなたのポケットに——発刊のことば

二十世紀最大の特色は、それが科学時代であるということです。科学は日に日に進歩を続け、止まるところを知りません。ひと昔前の夢物語もどんどん現実化しており、今やわれわれの生活のすべてが、科学によってゆり動かされているといっても過言ではないでしょう。

そのような背景を考えれば、学者や学生はもちろん、産業人も、セールスマンも、ジャーナリストも、家庭の主婦も、みんなが科学を知らなければ、時代の流れに逆らうことになるでしょう。

ブルーバックス発刊の意義と必然性はそこにあります。このシリーズは、読む人に科学的に物を考える習慣と、科学的に物を見る目を養っていただくことを最大の目標にしています。そのためには、単に原理や法則の解説に終始するのではなくて、政治や経済など、社会科学や人文科学にも関連させて、広い視野から問題を追究していきます。科学はむずかしいという先入観を改める表現と構成、それも類書にないブルーバックスの特色であると信じます。

ブルーバックス　B-333

超常現象の科学

霊魂からブラックホールまで

1977年10月25日　第1刷発行
1991年4月1日　第21刷発行

著者　都筑卓司（つづきたくじ）
発行者　野間佐和子
発行所　株式会社　講談社
東京都文京区音羽二丁目12—21
郵便番号　112-01
電話　03（5395）3524（編集部）
03（5395）3626（販売部）
03（5395）3615（製作部）

本文印刷・慶昌堂印刷　カバー，表紙・双美印刷　製本・中沢製本

ISBN4-06-117933-0　(科)

定価はカバーに表示してあります。

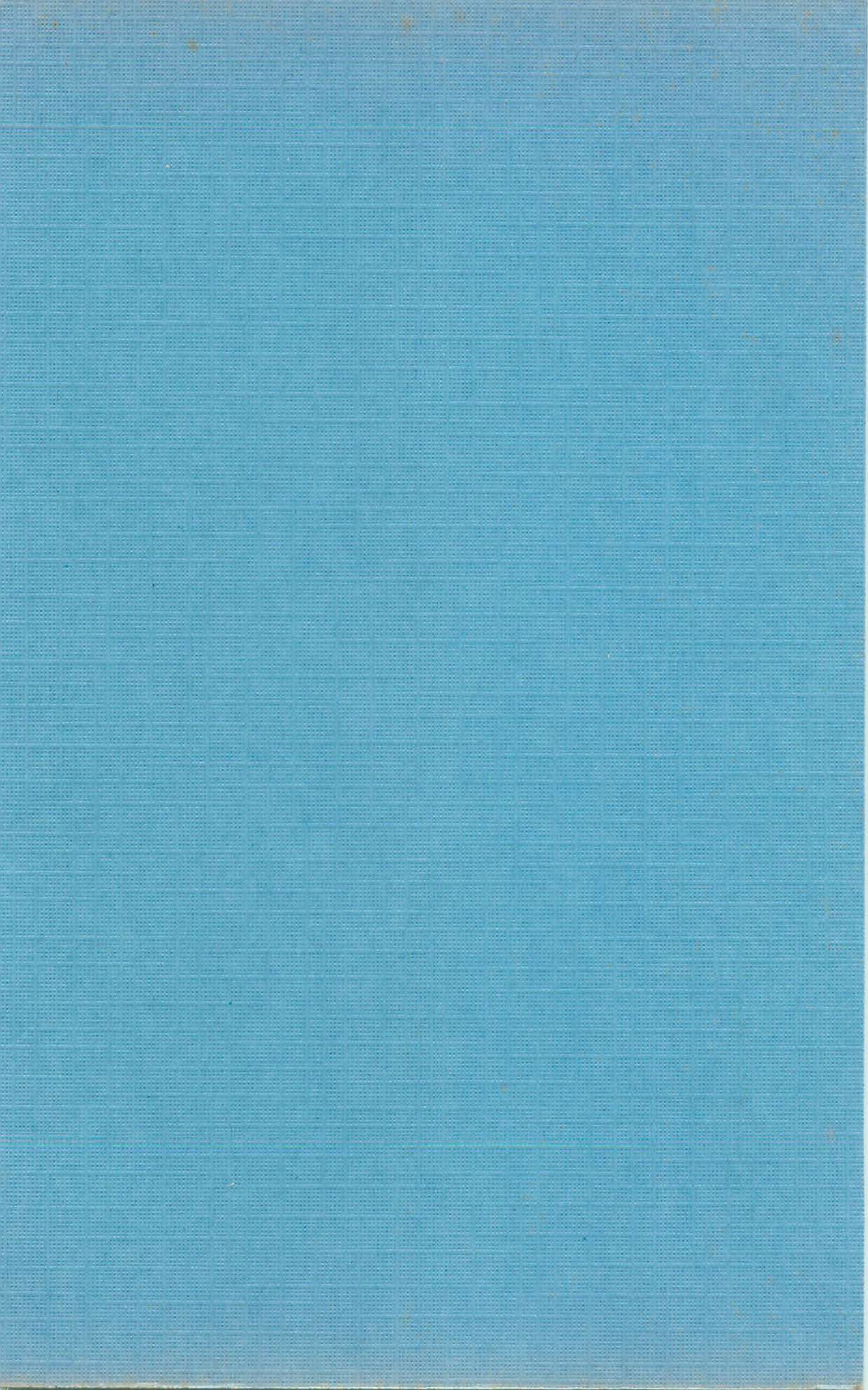
ブルーバックス物理関係書（I）

79 相対性理論の世界　J・A・コールマン　中村誠太郎訳
101 量子力学の世界　片山泰久
119 相対論はいかにしてつくられたか　L・バーネット　中村誠太郎訳
121 プラズマの世界　後藤憲一
126 パズル・物理入門　都筑卓司
142 四次元の世界　都筑卓司
152 マックスウェルの悪魔　都筑卓司
155 不確定性原理　都筑卓司
170 タイムマシンの話　都筑卓司
175 相対性理論の考え方　J・L・シンジ　中村誠太郎訳
178 SF相対論入門　石原藤夫
181 絶対零度への挑戦　K・メンデルスゾーン　大島恵一訳
187 光とはなにか　C・フェルツェほか　和田・計良訳
188 新・パズル物理入門　都筑卓司
200 はたして空間は曲がっているか　都筑卓司
203 相対性理論はむずかしくない　中野董夫　菅野禮司
228 核融合への挑戦　吉川庄一
241 相対論的宇宙論　吉川庄一
259 改訂新版 物質とはなにか　水島三一郎
277 アインシュタインの世界　J・イーシンフェルト　武谷・篠原訳
302 物理学の再発見I　高野義郎
305 物理質問箱　飯田・都築・宮本
314 原子核の世界　森田正人
334 やさしい力学教室　吉福康郎
346 物理現象を読む　藤井清　中込八郎
363 「場」とはなにか　都筑卓司
396 エントロピーとは何か　堀淳一

422 四次元問答　都筑卓司
435 数式を使わない力学　池田和義
437 五次元の世界　K・A・ブランスタイン　宮崎忠訳
470 相対論的量子論　中西襄
473 タイム・ワープ　J・グリビン　佐藤・田中訳
480 クォーク　南部陽一郎
483 物理トリック＝だまされまいぞ　都筑卓司
487 ブラックホール物理学　今枝国之助　今枝真理
492 見てわかる力学　藤井清　中込八郎
508 反物質の世界　広瀬立成
518 超光速粒子タキオン　本間三郎
539 レーザーの世界　J・テクトほか　井坂清訳
555 真空とはなにか　広瀬立成　槌田昌孝
563 電磁波とはなにか　後藤尚久
564 ビッグバン　佐藤文隆
568 放射能を考える　森永晴彦
584 10歳からの相対性理論　都築卓司
593 スペース・ワープ　J・グリビン　山本祐靖訳
596 わが輩は電子である　室岡義広
606 物理のABC　福島肇
613 粉体の科学　神保元二
625 モノポール　広瀬立成
627 アモルファス　桑野幸徳
633 改訂新版 物性物理の世界　伊達宗行
634 人は放射線になぜ弱いか　近藤宗平
646 だれが宇宙を創ったか　R・ジャストロウ　趙慶哲訳
660 一般相対論入門　R・ゲロック　山岸賢吾訳

672 銀河旅行と一般相対論　石原藤夫
673 磁石のABC　中村弘
678 電池の科学　橋本尚
679 アンテナの科学　後藤尚久
680 ディジタル・オーディオの謎を解く　天外伺朗
689 水惑星はなぜ生まれたか　松井孝典
691 ノーベル賞で語る20世紀物理学　小山慶太
693 量子力学の考え方　J・C・ポーキングホーン　宮崎忠訳
701 10歳からの量子論　都筑卓司
707 超伝導の世界　大塚泰一郎
714 アインシュタインを超える　J・トレイナーほか　久志本克己訳
717 降着円盤への招待　福江純
720 17億年前の原子炉　黒田和夫
727 「エクセルギー」のすすめ　押田勇雄
728 電磁気学のABC　福島肇
730 超精密材料・ニューガラスの世界　境野照雄
733 紙ヒコーキで知る飛行の原理　小林昭夫
744 驚異の希金属・レアメタル　吉松史朗　小川洋一
745 SF量子論入門　大槻義彦
749 10歳からの超電導　橋本尚
753 宇宙のはてを見る　磯部琇三
762 光で語る現代物理学　小山慶太
770 モーターのABC　見城尚志
773 電波は危なくないか　徳丸仁
777 10歳からのクォーク入門　都筑卓司
784 磁気光学の最前線　坪井泰住　日比谷孟俊
786 解ければ天才！理科クイズ　権平健一郎　神原武志

ブルーバックス物理関係書(II)

792 ニュートリノ天文学の誕生　小柴昌俊
798 タイムマシンの作り方　ニック・ハーバート　小隅黎他訳
801 SFはどこまで実現するか　ロバート・L・フォワード　久志本克己訳
805 図説・電流とはなにか　後藤尚久
808 科学者はなぜ一番のりをめざすか　小山慶太
813 相対論のABC　福島肇
826 ソリトンとは何か　坪井泰住
831 超ひも理論入門(上)　F・D・ピート　久志本克己訳
832 超ひも理論入門(下)　F・D・ピート　久志本克己訳
841 量子の謎をとく　F・A・ウルフ　中村誠太郎訳
849 コンピュータ物理の世界　神原武志ほか
854 磁石のナゾを解く　中村弘

つづき・たくじ　一九二八年静岡県浜松市生まれ。終戦時は海軍兵学校生徒。東京文理科大学卒業。横浜市立大学講師、助教授を経て現在、同大教授。理博。専攻は物性理論、統計力学。事情が許すかぎり国内を旅行してみたいというのが本人の願いで、大都市、中都市は歩きつくし、今はひなびた漁村や斜陽の炭鉱町を一人歩きするのが何ともいえない旅情をさそうという。ブルーバックス『四次元の世界』、『マックスウェルの悪魔』その他の著書で読者にもおなじみである。

ブルーバックス

定価760円
ISBN4-06-117933-0 C0240 P760E (5) (本体738円)

「数学者が誤りを犯すということは、その人が全く新しい手法を思いつく能力の不可避的な結果だと思います。」

アラン・チューリング

ブルーバックス

講談社

紫——物理学
赤——数学
緑——生物学
黄——化学
青——天文・宇宙・地学
ピンク——医・薬・心理学
茶——技術・工学
オレンジ—その他

DO SCIENCE